

**Генетические типы промышленной золоторудной минерализации
Фенноскандинавского щита и перспективы
Карельского региона на крупные месторождения золота**

Ивашенко В.И., Голубев А.И.

Институт геологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, e-mail: ivashche@krc.karelia.ru

Известные к настоящему времени в пределах Фенноскандинавского щита золоторудные месторождения и проявления относятся к нескольким генетическим типам (табл.), ведущим среди которых, как и в других докембрийских регионах [9 и др.] является орогенический мезотермальный (мезозональный) в зонах сдвиговых дислокаций. Промышленная золоторудная минерализация сосредоточена преимущественно в архейских и палеопротерозойских зеленокаменных поясах, свекофеннидах и Трансскандинавском магматическом поясе. Ее формирование происходило в неоархейскую (2,8-2,5 млрд. лет) и свекофенскую (1,9-1,8 млрд. лет) металлогенические эпохи.

Орогенический мезотермальный (мезозональный) тип. Месторождения золота данного типа широко распространены в докембрии [9 и др.]. Многие из них относятся к крупным и суперкрупным (Тимминс-Поркьюпайн, Керкленд Лейк – Канадский щит; Калгурли – Западно-Австралийский кратон и др.). За последние десятилетия в пределах гранит-зеленокаменных областей Фенноскандинавского щита открыто несколько мезотермальных золоторудных месторождений и большое число проявлений, но в отличие от других докембрийских регионов даже средних по масштабам среди них нет [7, 4]. Наиболее значимым и изученным мезотермальным оруденением золота в архее Фенноскандинавского щита являются месторождения и проявления района Иломанси (Финляндия) зеленокаменного пояса Ялонвара-Хатту-Тулос [7]. Крупнейшее среди них – месторождение Валкеасуо (17,5 т Au; 3,7 г/т; возраст ~2,7 млрд. лет) контролируется субмеридиональной сдвиговой зоной. [6]. Аналогичный контроль имеют и другие месторождения и проявления данного пояса, в том числе и в пределах российской его части, где в сходной геологической позиции выявлено (КГЭ, ИГ Кар.НЦ РАН,) несколько перспективных рудопоявлений золота (Соаньйоки, Хатуноя, Пролонваара, Юованьйоки и др.).

Среди мезотермальных золоторудных объектов в других архейских зеленокаменных поясах Фенноскандинавского щита по масштабам и изученности выделяются месторождения Рыбозеро (3,28 т Au; 2,18 г/т) и Педролампи (3,4 т Au; 5,9 г/т) в Карельской гранит-зеленокаменной области [4] и Оленинское (28 т Au, 3,1 г/т), Няльм (34,5 т Au, 0,35-3,7 г/т) – в Кольской [1].

Преобладающее большинство золоторудных месторождений и проявлений в палеопротерозойских зеленокаменных поясах, свекофеннидах и Трансскандинавском магматическом поясе относятся к орогеническому мезотермальному типу. В Лапландском зеленокаменном поясе известно около 20 месторождений, часть из которых разрабатывалась (Сааттопора, Пахтаваара и др.). Добыто более 11 т золота. Оруденение приурочено к альбитизированным зеленокаменным породам группы Киттеля и контролируется зонами сдвиговых дислокаций. Самым крупным месторождением является Суурикуосикко (>110 т.; 6,1 г/т), локализованное в метасоматически измененных графитистых сланцах и туффитах, залегающих между Fe- и Mg-толеитовыми метавулканиками формации Порконен с возрастом >2,0 млрд. лет. На продолжении Лапландского зеленокаменного пояса в Карелии [10] в зоне сочленения Карельского кратона и Беломорского мобильного пояса выявлено несколько незначительных по размерам золоторудных проявлений орогенического мезотермального и палеороссыпного типов [4]. В зеленокаменном поясе Куусамо известно несколько мелких мезотермальных золоторудных месторождений на территории Финляндии – Юомасуо, Конттиахо, Коуверваара и Карелии – Майское [10 и др.]. В Печенга-Варзугском зеленокаменном поясе выявлены аномальные зоны с золото-мышьяковистой минерализацией (руд. Брагинское), с которыми связывается промышленный потенциал этой структуры на золото [1]. Каутокейно зеленокаменный пояс характеризуется наличием нескольких золоторудных проявлений и одного промышленного мезотермального месторождения Биджовадгге в Норвегии. В зеленокаменном поясе Кируна известно два разрабатывавшихся мезотермальных золоторудно-медных месторождения – Вискария и Пахтавааре [11], локализованных в альбитизированных фельзических метавулканиках, подвергшихся хрупко-пластическим деформациям сдвигового характера.

Таблица. Генетические типы золоторудной минерализации Фенноскандинавского щита

Генетический тип	Геологические структуры	Возраст млрд. лет	Месторождения рудопоявления
Орогенический мезотермальный (мезозональный)	AR зеленокаменные пояса: Иломанси, Хатту, Кухмо, Суомуссалми, Ялонвара, Костомукша, Сумозеро, Хаутоваара, Колмозеро	AR 2,7	Валкеасуо, Пампало, Ряменпоро, Хатуноя, Оленинское, Рыбозеро, Хюрсюля, Берендей
	PR зеленокаменные пояса: Лапландский, Куусамо, Перяпохья, Карасъйоки, Каутокейно, Кируна, Печенга-Варзуга	PR 1,9-1,85	Пахтаваара, Сааттопора, Суурикуосикко, Биджовадгте Пахтохаваре, Майское
	Свекофеннский складчатый пояс: Шеллефте, Раахе-Хаапаярви, Саво, Тампере, Бергслаген, С. Приладжье	PR 1,87-1,83	Акерберг, Осиконмяки, Лайвакангас, Пякюля, Алатту, Янис
	Транскандинавский магматический пояс	PR 1,8-1,7	Адельфорс, Солстад
	Готский домен	PR 1,0	Глава, Харнас, Блэка Эйдсволл, Векселмур
	Докембрий Норвегии: Довре, Оппдал, Гаутелисфьелл, Ромбак, Рингвассова	(?)	Сордалшогда, Сибириэн, Гаутелисфьелл, Оппдал
Порфиновый (Intrusion-related)	AR зеленокаменные пояса: Авнеозеро-Парандовский, Ялонвара-Иломанси, Колмозеро	AR 2,8-2,7	Лобаш-1, Ялонвара, Кадди- лампи, Заломаевское, Таловейс, Пеллапкх
	Свекофеннский складчатый пояс: Гелливаре, Шеллефте, Центральная Остроботния	PR 1,9-1,85	Айтик, Бьеркдал, Копса, Юоухинева, Таллберг
VMS (колчеданный)	Свекофеннский складчатый пояс: Раахе-Ладжская, Шеллефте, Бергслаген, Фродерид	1,92-1,87	Оутокумпу, Пуохясалми, Виханти, Удден, Ренстром, Фалун
Эпитермальный(+мета морфизм)	AR зеленокаменные пояса: Оярви	AR 2,7	Кюльмякангас(?)
	Свекофеннский складчатый пояс: Тампере, Шеллефте	PR 1,9	Кутемаярви, Болиден, Энасен, Исовеси, Йокисиву Райконкоски,
Скарновый и Au,Cu,Fe- рудный	PR зеленокаменные пояса: Лапландский, Перяпохья	PR 1,9-1,8	Куэрвитуикко, Вяхяйоки
Палеороссыпи	Центральная Лапландия, Тунгудская, Янгозерская, Нименьга	1,9-1,8	Каарестунтури, Оутаряа, Нигалма, Маймъярви, Ятулий-1, Нименьга
Россыпи	Северная Лапландия		Ивалойоки, Лемменйоки

Примечание: таблица составлена с использованием данных [6, 11].

Орогенические мезотермальные золоторудные месторождения в свекофеннидах контролируются сдвиговыми зонами, широко проявленными в р. Шеллефте на удалении 50-200 км к ЮЗ от Раахе-Ладжской линии, а также в Раахе-Хаапаярви и Саво областях. Аналогичные структуры установлены в сланцевом поясе Тампере, провинции Бергслаген, ЮЗ Финляндии и С. Приладжье [8, 2 и др.]. В провинции Шеллефте известно несколько мелких месторождений (Фабодлиден, Варгбаскен, Грундфорс, Бьйоркдал, Акерберг и др.) происхождение которых дискуссионно [11]. Главная роль в их формировании отводится или свекофеннскому гранитоидному магматизму, или метаморфо-метасоматическим процессам в шир-зонах, или их последовательному совокупному воздействию. Одно из этих месторождений – Акерберг с 1989 г. по 2001 г. разрабатывалось (600 кг Au).

Порфиновый тип (intrusion-related). Промышленное оруденение золота этого типа распространено в пределах Фенноскандинавского щита незначительно. Большей частью оно является комплексным с низкими содержаниями золота. В архее это месторождения Лобаш-1 (5,06 т Au, 4,71 г/т), Пеллапкх (24 т Au, 0,1 г/т), Ялонвара и, вероятно, Таловейс и Заломаевское. В протерозое – Айтик (120 т Au, 0,2 г/т), Бьеркдал (20 т Au, 2,5 г/т), Копса (14 т Au) и др. Порфировая минерализация играет важную роль при формировании орогенических мезотермальных месторождений как одна из главных базовых золоторудных формаций.

Эпитермальный тип золоторудной минерализации (Болиден – добыто 128 т Au, Энасен – добыто 20 т Au, Кутемаярви – добыто 15 т Au) и *золотонесущие месторождения VMS типа* (Оутокумпу – добыто 28 т Au, Виханти и Пюхясалми – добыто ~30 т Au). характерны только для протерозоя рассматриваемого щита и неизвестны в архее.

Карельскому региону, как части Фенноскандинавского щита, вероятно, свойственно и металлогеническое своеобразие последнего в распределении запасов золота между археем и протерозоем. Из всего объема добытого в пределах щита золота (~500 т), на долю архейских месторождений приходится ~ 2 т (м. Пампало, Финляндия). Протерозойские (свекофеннские) месторождения Болиден (добыто 128 т Au, 411 т Ag) и Айтик (активные запасы: Au – 140 т; Ag – 2800 т) в Швеции – самые крупные золоторудные объекты Европы. Большинство открытых в конце прошлого века на Фенноскандинавском щите перспективных золоторудных проявлений и промышленных месторождений, в т.ч. самое крупное – Суурикуосикко (>110 т Au) в Финляндии, также являются протерозойскими. Примерно такое же соотношение для данного щита характерно и в распределении запасов золота между протерозойской и архейской эпохами. В этом главное отличие металлогении золота Фенноскандинавского щита от других докембрийских регионов, где резко и по запасам и по добыче доминируют архейские месторождения золота [9, 5]. Данная металлогеническая специфика рассматриваемого щита объясняется, по-видимому, массивной тектоно-термальной проработкой его архейских доменов в свекофеннскую эпоху, обусловившей «разубоживание» и уничтожение ранее образованных архейских золоторудных концентраций в зеленокаменных поясах [3]. Причины этого заключаются в следующем.

Согласно современным генетическим концепциям образование золоторудных месторождений (в особенности орогенических мезотермальных) определяется, главным образом, процессами ремобилизации и активной миграции золота с явлениями рециклинга.

Карельский кратон после своего формирования испытывал преимущественно восходящие движения и подвергался существенной экзогенной, а возможно и тектонической денудации. Широкое распространение в пределах архейских зеленокаменных поясов Карельского кратона метасоматитов свекофеннского возраста (~1,9-1,8 млрд. лет) с РТ параметрами, благоприятными для локализации золотого оруденения, свидетельствует о том, что изофациальные архейские метасоматиты в них практически полностью эродированы, а сохранившиеся – подверглись интенсивной термальной и флюидной проработке, обусловившей в той или иной степени вынос из них ряда рудных компонентов, в т.ч. и золота. При формировании свекофеннских метасоматитов по архейским породам (включая и метасоматически измененным) растворы, проходя через породные толщи базовых золоторудных формаций, из которых еще в архейское время были экстрагированы золото и сопутствующие рудные элементы, не обогащались ими и соответственно в благоприятных физико-химических условиях не могли даже в теоретическом аспекте приводить к образованию значительных концентраций золота. Более того, свекофеннские эндогенные процессы, приводили, вероятно, в большинстве своем к «разубоживанию» ранее образованных архейских золоторудных концентраций вследствие пространственного несовпадения зон мобилизации, транспортировки и отложения (кристаллизации) рудного вещества в функционировавших в одних и тех же тектоноструктурах Карельского кратона орогенических мезотермальных рудных системах неоархейской и свекофеннской металлогенических эпох. При этом вследствие общего в целом воздымания Карельского кратона в постлопийское время наиболее распространенным вариантом пространственного соотношения зон мобилизации, транспорта и отложения неоархейских и свекофеннских рудных систем является, вероятно, вариант, когда свекофеннские зоны отложения совпадали с архейскими зонами мобилизации, а архейские зоны отложения в различной степени эродированы. Этим, видимо, и объясняется наличие в архейских зеленокаменных поясах Фенноскандинавского щита большого числа рудопроявлений и пунктов минерализации при крайне ограниченном распространении мелких месторождений и полном отсутствии более крупных золоторудных объектов.

Основываясь на изложенном и результатах изотопного датирования рудоносных метасоматитов архейских зеленокаменных поясов Карельской гранит-зеленокаменной области, в большинстве своем показывающих их свекофеннский (или более молодой) возраст, перспективы ее на золото представляются невысокими. Потенциально промышленно золотоносными могут быть только ар-

хейские зеленокаменные структуры, не подвергшиеся существенной эрозии и свекофеннской тектоно-термальной активизации. В случае же проявления свекофеннских метаморфо-метасоматических преобразований в архейских зеленокаменных поясах перспективны на золото те их структуры, в которых зоны отложения развивавшихся в одних и тех же местах разновременных рудных систем пространственно совпадали или наращивали и дополняли (телескопировали) друг друга, что представляется достаточно маловероятным.

Исходя из этого и установленных закономерностей размещения и образования известных на Фенноскандинавском щите крупных золоторудных месторождений (Болиден, Айттик, Суурикуосикко), наибольшие перспективы на выявление в Карельском регионе сопоставимых по масштабам золоторудных объектов имеют протерозойские домены и в первую очередь - Онежская вулканотектоническая структура. В ее строении участвуют структурно-вещественные ансамбли, являющиеся формационно-возрастными аналогами наиболее продуктивных на золото протерозойских комплексов Финляндии с одним из крупнейших в настоящее время на Фенноскандинавском щите золоторудным месторождением Суурикуосикко. Определяющим для формирования месторождений такого ранга является установленная в Онежской структуре соответствующая металлогеническая и геохимическая специализация черносланцевой формации, обуславливаемая сингенетичными накоплениями, метаморфогенным перераспределением и полигенно-полихронными эпигенетическими преобразованиями эндогенной природы.

Нахождение золоторудных месторождений, аналогичных Суурикуосикко возможно на всем продолжении Лапландского зеленокаменного пояса (Куолаярвинская и Лехтинская структуры, Ветреный Пояс), а также в зоне сочленения Карельского кратона и свекофеннид, где отмечаются все необходимые для этого геологические предпосылки и уже выявлено («Карелприродресурс», ИГ Кар.НЦ РАН) высокоперспективное комплексное благороднометальное проявление Райконкоски, характеризующееся высокими содержаниями золота, серебра, висмута, теллура и селена и богатейшим разнообразием соответствующих минералов.

Кроме возможного открытия на территории Карелии крупных золоторудных месторождений типа Суурикуосикко, имеются также определенные перспективы на выявление крупных комплексных с благородными металлами месторождений порфирового типа, или перевод в такой ранг при соответствующем доизучении уже известных рудных объектов – Лобаш, Ялонвара, которые могут представляться как большеобъемные месторождения с бедными рудами. Уже в настоящее время по состоянию изученности одним только снижением бортовых содержаний до 1,5 г/т промышленные ресурсы золота на месторождении Лобаш-1 составят около 60 т при возможности добычи открытым способом.

Таким образом, главными генетическими типами промышленной золоторудной минерализации Фенноскандинавского щита являются орогенический мезотермальный, порфировый (intrusion-related), эпитеpmальный и VMS, а основные перспективы золотоносности Карельского региона, в том числе и на крупные золоторудные месторождения, по аналогии с территориями Финляндии и Швеции следует связывать с протерозойскими структурами, используя современные металлогенические достижения скандинавской геологии.

Работа выполняется при финансовой поддержке Программы ОНЗ РАН № 2 «Фундаментальные проблемы геологии, условия образования и принципы прогноза традиционных и новых типов крупномасштабных месторождений стратегических видов минерального сырья».

Литература

1. Гавриленко Б.В. Минерагения благородных металлов и алмазов северо-восточной части Балтийского щита. Автореферат докт. диссер. Апатиты. 2003. 64 с.
2. Иващенко В.И., Ручьев А.М., Лавров О.Б., Кондрашова Н.И. Рудопроявление Пякюля – новый высокоперспективный тип благороднометального оруденения в докембрии Карелии // Доклады РАН. 2002. Т. 384, № 2. С. 232–237
3. Иващенко В.И. Золото Фенноскандии – металлогения и перспективы золотоносности территории Карелии // Тр. Кар.НЦ РАН. 2006. вып. 9. с. 84–111.
4. Минерально-сырьевая база Республики Карелия. кн.1. под. ред. В.П.Михайлова и В.Н.Аминова. Петрозаводск. Карелия. 2005. 278 с.

5. Сафонов Ю.Г., Попов В.В., Волков А.В. и др. Геодинамические факторы образования крупных и сверхкрупных докембрийских золоторудных концентраций // Крупные и суперкрупные месторождения: закономерности размещения и условия образования. М., 2005. С. 15–46.
6. Eilu P. Fingold – a public database on gold deposits in Finland. Geological Survey of Finland. Report of Investigation 146. Espoo. 1999. 224 p.
7. Geological development, gold mineralization and exploration methods in the late Archean Hattu schist belt, Ilomantsi, eastern Finland. Espoo. 1993. Spec. Paper. Geol. Surv. Finl. 17. 386 p.
8. Geological setting and characteristics of the tonalite-hosted Paleoproterozoic gold deposit at Osikonmaki, Rantasalmi, southeastern Finland // 1998. Spec. Paper. Geol. Surv. Finl. 25. 119 p.
9. Groves D.I., Goldfarb R.J., Robert F. and Hart C.J.R. Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance // Economic Geology. 2003. vol. 98. p. 1–29.
10. Pankka H.S., Vanhanen E.J. 1989. Aulakogen related epigenetic Au-Co-U deposits in northeastern Finland // Geol. Surv. Of Finland. Current Research. 1988. Espoo. 1989. p. 911-94.
11. Sundblad K. Metallogeny of gold in the Precambrian of Northern Europe // Economic geology. 2003. V. 98. P. 1271–1290.

Анизотропия упругих свойств керна Кольской сверхглубокой скважины из зоны Лучломпольского разлома и аналогов этого керна с земной поверхности

Ильченко В.Л.

Геологический институт Кольского НЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: vadim@geoksc.apatity.ru

При геодинамическом изучении или реконструкциях различных геологических объектов одним из важных параметров, отвечающих напряженно-деформированному состоянию изучаемого объекта является анизотропия упругих свойств горных пород. Такая анизотропия может возникать в изначально изотропных породах в результате воздействия на них полей литостатических и тектонических напряжений. С другой стороны, уже присутствующая в горном массиве анизотропия может влиять на напряженно-деформированное состояние массива, способствовать модификации (перераспределению) значений главных составляющих силового воздействия.

Наиболее простым, удобным и информативным на сегодняшний день способом определения положения в пространстве элементов упругой симметрии горных пород (и других твердых сред) для определения вида (типа) упругой симметрии и степени анизотропии их упругих свойств является акустополяризационный метод [1].

Самым интересным объектом для геологического и геодинамического изучения на Кольском полуострове, несомненно, является Кольская сверхглубокая скважина (СГ-3), а во вскрытом ею разрезе самой представительной и широко известной является Главная тектоническая зона в нижней части ждановской свиты и Лучломпольский разлом, проходящий по границе никельской и луостаринской серий (названия серий по [2]). Геологическое строение Главной тектонической зоны и в скважине и на поверхности одинаковое. В Лучломпольском разломе интенсивность расланцевания осадочных и эффузивных пород на глубине (в керне) выше, чем у их аналогов на поверхности и причина такого несоответствия неясна [2]. Главная тектоническая зона начинается с глубины около 4340 м, где зафиксировано резкое увеличение значений анизотропии упругих свойств керна [1,3].

Образцы керна СГ-3 из зоны Лучломпольского разлома (интервал 3.9–5.4 км) были изучены нами более подробно [4]. В результате этой работы было установлено, что выше названный интервал является зоной тектонической расслоенности и представляет собой пачку тектонических пластин, ограниченных, каждая по отдельности, сверху и снизу максимально нарушенными участками. Эти участки в скважине отличаются максимальными размерами вывалов из стенок скважины или каверн. Величины показателей упругой анизотропии волнообразно возрастают в краевых частях тектонических пластин (кавернозных участков) и уменьшаются в их внутренних частях.