

УДК 553.411.071:553.06:553.07

ЗОЛОТО ФЕННОСКАНДИИ – МЕТАЛЛОГЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЗОЛОТОНОСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ КАРЕЛИИ

В. И. ИВАЩЕНКО

Институт геологии Карельского научного центра РАН

Месторождения золота Фенноскандии относятся к нескольким генетическим типам: орогеническому; эпитермальному метаморфизованному; связанному с интрузивным магматизмом (порфировому); вулканогенному массивных сульфидных руд (VMS); скарновому; осадочному (конгломератовому). По геологической позиции они подразделяются на месторождения – в архейских и палеопротерозойских зеленокаменных поясах; в свекофенидах и Трансскандинавском магматическом поясе; в готском домене; в докембрийских террейнах Западной Норвегии и эрозийных окнах в каледонидах. Промышленные концентрации золота отмечаются также в Cu, Cu-Ni и Pt месторождениях. Золотое оруденение формировалось преимущественно в AR₂ и PR₁ металлогенические эпохи. 95% ресурсов (~2000 т) и почти 100% добытого золота (~500 т) на Фенноскандинавском щите связано с протерозойской эпохой. В Карелии за всю историю горнорудного промысла добыто ~150 кг золота. Здесь выявлено более 200 рудопроявлений и несколько мелких месторождений золота, аналогичных зарубежным. Наиболее перспективны на золото в Карелии области конвергентного взаимодействия плит, в первую очередь Свекофеннской океанической с Карельским кратоном. С учетом мировой конъюнктуры и состояния рентабельных запасов золота в России, Карелия выдвигается в ряд наиболее перспективных ее регионов для промышленной добычи золота в ближайшем будущем.

V. I. IVASHCHENKO. GOLD OF FENNOSCANDIA: METALLOGENY AND GOLD POTENTIAL OF KARELIA

Gold deposits of Fennoscandia fall into several genetic types: an orogenic type; an epithermal metamorphosed type associated with intrusive magmatism (porphyric); a volcanogenic massive sulphide ore type (VMS); a skarn type; and a sedimentary (conglomerate) type. They are subdivided on the basis of geological position into deposits in Archean and Paleoproterozoic greenstone belts; in Svecofennides and in the Trans-Scandinavian magmatic belt; in the Gothian domain; in Precambrian terrains of West Norway and in erosional windows in Caledonides. Economic gold concentrations also occur in copper, copper-nickel and platinum deposits. Gold mineralization was forming dominantly during the AR₂ and PR₁ metallogenic epochs. 95% of resources (~2000 t) and almost 100% of the gold produced (~500 t) in the Fennoscandian Shield are associated with the Proterozoic epoch. Karelia's mining industry has produced a total of about 100 kg of gold. Karelia has more than 200 ore occurrences and several small gold deposits, similar to those known in other countries. Convergent plate interaction domains, primarily the Svecofennian oceanic plate-Karelian craton interaction domain, have the highest gold potential in Karelia. Considering the global gold demand and the condition of Russia's economic reserves, Karelia is likely to become one of the most perspective commercial gold mining regions in the near future.

Ключевые слова: золоторудные месторождения, Фенноскандинавский щит, архейские и палеопротерозойские зеленокаменные пояса, золотоносность территории Карелии.

Введение

За всю историю человеческой цивилизации добыто ~130–140 тыс. т золота. Из них более 100 тыс. т произведено в XX в. Причем за первые его тридцать лет добыто золота в 1,5 раза больше, чем за все предшествующее столетие, давшее, в свою очередь, в 5 раз больше золота, чем XVIII в. Современное мировое производство золота составляет ~2600 т, потребление – более 3000 т в год. Структура его потребления в последние годы мало меняется (%): ювелирное производство – 73–77; электронная и электротехническая промышленность – 12–14; стоматология – 0,3–4,5; чеканка монет и др. – 9–10 (Минеральное сырье..., 1999). Цена на золото к концу 2005 г. достигла своего рекордного значения за последние 25 лет – >544 дол. за тройскую унцию, или >19 дол./г. Наиболее крупными производителями золота являются ЮАР, США, Австралия, Канада, Китай, Россия, Индонезия, Узбекистан. Мировые запасы золота превышают 100 тыс. т. Около 90% из них сосредоточены в семи государствах (ЮАР – 56,3%, США – 13,4%, Россия – 7–8%, Бразилия – 6,4%, Канада – 4,5%, Австралия – 4,4%, Папуа Новая Гвинея – 2,5%) и связаны главным образом с коренными месторождениями золота (99,8% запасов ЮАР, 95% – США, Австралии, Канады) и лишь в Бразилии ~70% запасов приходится на россыпи бассейна р. Амазонки. В США, Канаде, Австралии и особенно Папуа Новой Гвинее значительная часть запасов золота заключена в комплексных рудах медных, медно-никелевых и полиметаллических месторождений (Сафонов, 1997 и др.).

Анализ размещения золоторудных месторождений (Сафонов и др., 2005) позволяет сделать вывод о максимальной продуктивности на золото неогарнейской металлогенической эпохи, на которую приходится более половины его мировых запасов (~130 тыс. т), причем большая их часть сосредоточена в провинции Витватерсранд (Ю. Африка), где на площади около 50 тыс. км² сконцентрировано не менее 100 тыс. т золота. Остальные эпохи характеризуются гораздо меньшей продуктивностью: раннепротерозойская ~5 тыс. т; средне- и позднепротерозойская – 10 тыс. т; палеозойская и кайнозойская – 30 тыс. т (Сафонов, 1997).

Среди архейских золоторудных провинций (без Витватерсранда) к самым значительным относятся зеленокаменный пояс Абитиби на Канадском щите с золоторудными узлами Тимминс-Поркьюпайн (~2500 т), Керкленд Лейк (1500 т) и др. и золоторудное поле Калгурли в Западно-Австралийском кратоне с первичными суммарными запасами золота более 1500 т. Из среднепротерозойских золоторудных месторождений наиболее крупными являются Хомстейк в США (~1300 т) и Олимпик Дэм в юго-восточной Австралии (~1200 т), а из верхнепротерозойских – Сухой Лог в Витимо-Бодайбин-

ской золоторудной области России с запасами более 1000 т золота и платины (Константинов и др., 2000; Сафонов и др., 2005).

Сверхкрупными (~3000 т) ресурсами золотых руд палеозойского возраста характеризуется Тамдытаусский район (Узбекистан) с месторождением Мурунтау (>1500 т). Первичные ресурсы золота в 2000 т имелись в районе Бендиго-Балларат в Австралии, где на месторождении Бендиго сохранились запасы около 600 т, а из россыпей штата Виктория добыто 1600 т золота. Уникальные скопления россыпного золота на ограниченных площадях в рудном поясе Мазер Лод (США) и Верхнеколымской области свидетельствуют о вероятности изначального существования здесь сверхкрупных концентраций коренного золота. Колымские россыпи – крупнейший в мире район распространения россыпного золота (добыто >3000 т). В поясе Мазер Лод в шт. Калифорния из коренных месторождений получено 400 т золота, а из россыпей – более 2000 т (Сафонов, 1997).

Среди кайнозойских золоторудных провинций по масштабности запасов выделяются две области – штат Невада (США) с месторождениями карлинского типа (Пост Бетце, 930 т) и острова Филиппин – Папуа Новой Гвинее с серией крупных месторождений, среди которых наиболее значительно – Лэдолэм (остров Лихир, 1200 т Au) (Константинов и др., 2000; Сафонов и др., 2005).

К настоящему времени на территории Фенноскандии не выявлены крупные золоторудные провинции и соответственно месторождения гиганты и супергиганты. За всю историю горнорудного освоения ее недр добыто около 500 т золота: в Швеции ~400 т; в Финляндии ~100 т; в Норвегии ~20 т; в России (Карелия) ~150 кг. Запасы золота (с прогнозными ресурсами по категории P₁) Фенноскандии составляют ~1000–1500 т (>1000 т – в Швеции, Финляндии и Норвегии). На ее территории, преимущественно в Швеции и Норвегии, действует около 10 золотодобывающих рудников. В Карелии в настоящее время золотодобывающих предприятий нет.

Первые задокументированные находки и добыча золота в Карелии относятся к началу XVIII в. В 1732 г. вблизи д. Надвоицы крестьянином Антоновым было обнаружено золото в кварцевой жиле, давшей начало Воицкому руднику. К моменту его закрытия в 1768 г. было добыто 74 кг золота и 106 т меди (Кузин, 1961). Монахи Даниловского монастыря чеканили собственную монету из золота, предположительно найденного ими в Олонецкой губернии (?). В XIX в. 1 пуд золота и 11 т серебра были попутно получены из руд Питкярантского медно-оловорудного месторождения (Грендаль, 1896). В конце XX в. на Майском месторождении в Северной Карелии было добыто 53,3 кг золота на сумму 590 тыс. долларов.

Обстановки нахождения и типизация золоторудных месторождений Фенноскандии

Геологическое строение территории Фенноскандии определяется преимущественным нахождением ее в пределах одноименного докембрийского щита, граничащего на северо-западе с более молодыми доменами, включающими в себя также в виде останцов и тектонических окон докембрийские породные комплексы. С учетом этого ее геология и металлогения в основном и практически на всей ее площади (~1,6 млрд км²) определяются особенностями геологического развития Фенноскандинавского щита в докембрии.

Фенноскандинавский щит по времени формирования и кратонизации отдельных его частей подразделяется на три домена (Gaal, Gorbatshev, 1987 и др.): архейский, свекофеннский (включая трансскандинавский магматический пояс) и готский (рис. 1). Архейский домен состоит из Карельской и Кольской гранит-зеленокаменных областей, кратонизированных в позднем архее, и Беломорского мобильного пояса. В раннем протерозое на Карельском кратоне в результате рифтогенных процессов были сформированы палеопротерозойские зеленокаменные пояса, самый крупный из которых – Лапландский – предположительно протягивается более чем на тысячу километров (Pankka, Vanhanen, 1989). Свекофеннский домен является результатом рифтинга архейского Карельского кратона по оси Раахе – Ладога (от северной Швеции до Ладожского озера) с новообразованием океанической коры и последующим их конвергентным взаимодействием с формированием офиолитовых, островодужных и окраинно-континентальных комплексов и их аккрецией и коллизией во время свекокарельского орогенеза (Nironen, 1997). Трансскандинавский магматический пояс, простирающийся от юго-восточной Швеции в Норвегию к каледонидам (рис. 1), представлен посторогенными магматическими комплексами, сформированными по юго-западному краю свекофеннид после завершения свекокарельского орогенеза (1,85–1,65 млрд лет). В строении Готского домена, расположенного в юго-западной Скандинавии (рис. 1), участвуют ортогнейсы, метаосадки и посттектонические гранитоиды с возрастом 1,65–0,9 млрд лет, подвергшиеся высокотемпературному метаморфизму в период свеконорвежской орогении (1,05–0,9 млрд лет).

К настоящему времени во всех перечисленных крупных структурных единицах Фенноскандинавского щита известны промышленно значимые золоторудные объекты. Многие из них разрабатывались или разрабатываются и поныне. Характеристика отдельных золоторудных месторождений приведена в многочисленных публикациях (Проблемы..., 1997; Минерально-

сырьевая база..., 2005; Nurmi, Ward, 1989; Geological..., 1993; Luukonen, 1994 и др.). Вопросам металлогении золота и геолого-генетической типизации золоторудных проявлений отдельных регионов Фенноскандинавского щита посвящен ряд работ российских и зарубежных геологов (Ивашенко, Лавров, 1994; Горошко и др., 1998; Кожевников, 2000; Ахмедов и др., 2001; Ивашенко и др., 2002а, б; Гавриленко, 2003; Коровкин и др., 2003; Кулешевич, 2003, 2005 и др.; Ларионова и др., 2005; Geological..., 1993; Kontoniemi, 1998; Eilu, 1999 и др.). В целом металлогения золота Фенноскандинавского щита, но по существу детально только его зарубежной части, рассматривается в работах Г. Гаала и К. Сундблада (Gaal, Sundblad, 1990; Sundblad, 2003).

По геологической позиции золоторудные месторождения на территории Фенноскандии, с учетом опубликованных и фондовых материалов по золотоносности ее территории и оригинальных данных автора по ряду золоторудных объектов Карелии и Швеции, подразделяются на (рис. 1):

1. Месторождения в архейских зеленокаменных поясах.
 2. Месторождения в палеопротерозойских зеленокаменных поясах.
 3. Месторождения в свекофеннидах и Трансскандинавском магматическом поясе (ТІВ).
 4. Месторождения в Готском домене (область свеконорвежской регенерации).
 5. Месторождения в докембрии Западной Норвегии и докембрийских тектонических «окнах» в каледонидах.
 6. Палеороссыпи и современные россыпи.
- Вне зависимости от геологической позиции золоторудные месторождения Фенноскандии относятся к нескольким генетическим типам (табл.), впервые в систематизированном виде выделенным для данного региона применительно к золоторудным объектам Финляндии (Eilu, 1999). Ведущим генетическим типом золоторудной минерализации на территории Фенноскандии, как и в других докембрийских регионах (Groves et al., 1998, 2003), является орогенический мезозональный в зонах сдвиговых дислокаций.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ В АРХЕЙСКИХ ЗЕЛЕНОКАМЕННЫХ ПОЯСАХ

Золоторудные месторождения в архейских зеленокаменных поясах широко распространены на докембрийских щитах. Многие из них относятся к классу крупных и суперкрупных (Тимминс-Поркьюпайн, Керкленд Лейк – Канадский щит; Калгурли – Западно-Австралийский кратон и др.). За последние десятилетия в пределах Карельской и Кольской гранит-зеленокаменных областей Фенноскандинавского щита открыто несколько золоторудных месторождений и проявлений (рис. 2), но в отличие от

Генетические типы золоторудной минерализации Фенноскандии

Генетический тип	Геологические структуры	Возраст, млрд лет	Месторождения, рудопроявления
Орогенический мезозональный	AR зеленокаменные пояса: Иломантси, Кухмо, Суомуссалми, Ялонвара Костомукша, Сумозеро, Хаутоваара, Колмозеро	AR 2,7	Валкеасуо, Пампало, Куйттила, Рямепюро, Хатуноя, Рыбозеро, Хюрсюля, Берендей
	PR зеленокаменные пояса: Лапландский, Куусамо, Перяпохья, Карасъйоки, Каутокейно, Кируна, Печенга-Варзуга	PR 1,9–1,85	Пахтаваара, Сааттопора, Суурикуосикко, Биджовадгге, Пахтохаваре, Майское
	Свекофеннский складчатый пояс: Шеллефте, Раахе-Хаапаярви, Саво, Тампере, Бергслаген, С. Приладожье	PR 1,87–1,83	Акерберг, Бьеркдал, 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-Иломантси, Колмозеро	AR 2,8–2,7	Лобаш-1, Ялонвара, Кадди-лампи, Заломаевское, Таловейс, Пеллапах
	Свекофеннский складчатый пояс: Гелливаре, Шеллефте, Центральная Остроботния	PR 1,9–1,85	Айтик, Бьеркдал, Копса, Юоухинева, Таллберг
VMS (колчеданный)	Свекофеннский складчатый пояс: Раахе-Ладожская, Шеллефте, Бергслаген, Фродерид	1,92–1,87	Оутокумпу, Пюхясалми, Виханти, Удден, Ренстром, Фалун
Эпитермальный (+метаморфизм)	AR зеленокаменные пояса: Ояярви	AR 2,7	Кюльмякангас
	Свекофеннский складчатый пояс: Тампере, Шеллефте	PR 1,9	Кутемаярви, Болиден, Энасен, Исовеси, Йокисиву
Скарновый и Au, Cu, Fe-рудный	PR зеленокаменные пояса: Лапландский, Перяпохья	PR 1,9–1,8	Куэрвитикко, Вяяхйоки
Палеороссыпи	Центральная Лапландия, Тунгудская, Янгозерская, Нименьга	1,9–1,8	Каарестунтури, Оутаряя, Нигалма, Маймъярви, Ятулий-1, Нименьга
Россыпи	Северная Лапландия		Ивалойоки, Лемменйоки

Примечание. Таблица составлена с использованием данных: Eilu, 1999; Sundblad, 2003 и др.

других щитов даже средних среди них нет (Коровкин и др., 2003; Минерально-сырьевая база., 2005). Месторождения относятся к трем генетическим типам – орогеническому мезозональному в зонах сдвиговых дислокаций, порфировому (intrusion-related) и эпитермальному метаморфизованному (табл.).

Наиболее значимые и изученные месторождения орогенического типа находятся в золоторудном районе **Иломантси** (Финляндия) зеленокаменного пояса Ялонвара – Иломантси – Тулос (Geological..., 1993). Крупнейшим среди них является месторождение *Валкеасуо* (17,5 т Au), локализованное в северной части сланцевого пояса Хатту и контролируемое субмеридиональной зоной сдвиговых дислокаций. Интрузивные породы (тоналиты, граниты) района месторождения являются предрудными. Рудовмещающий структурно-формационный комплекс представлен слюдястыми сланцами по метатUFFитам среднего состава и аргиллитам, ре-

же метаграуваккам. Минерализованная зона длиной 1,5 км и мощностью 5–15 м насыщена золотоносными кварц-полевошпат-турмалиновыми жилами, окруженными березитоподобными метасоматитами, имеющими местами брекчиевидный облик. Руды легко обогатимы. 97,4% золота является свободно извлекаемым. Возраст оруденения – 2708–2693 млн лет. Запасы руды на месторождении оценены в 4,8 млн т со средним содержанием золота 3,7 г/т (Eilu, 1999).

В пределах российской части архейского зеленокаменного пояса Ялонвара – Иломантси – Тулос известно несколько рудопроявлений золота орогенического и порфирового типов (Ивашенко, Лавров, 1994; Юдин, 2003; Ивашенко и др., 2004б, 2005а, б). Наиболее изученными и перспективными являются золоторудные объекты уч. Хатуноя в Ялонварской структуре (рис. 3), относящиеся к двум генетическим типам.

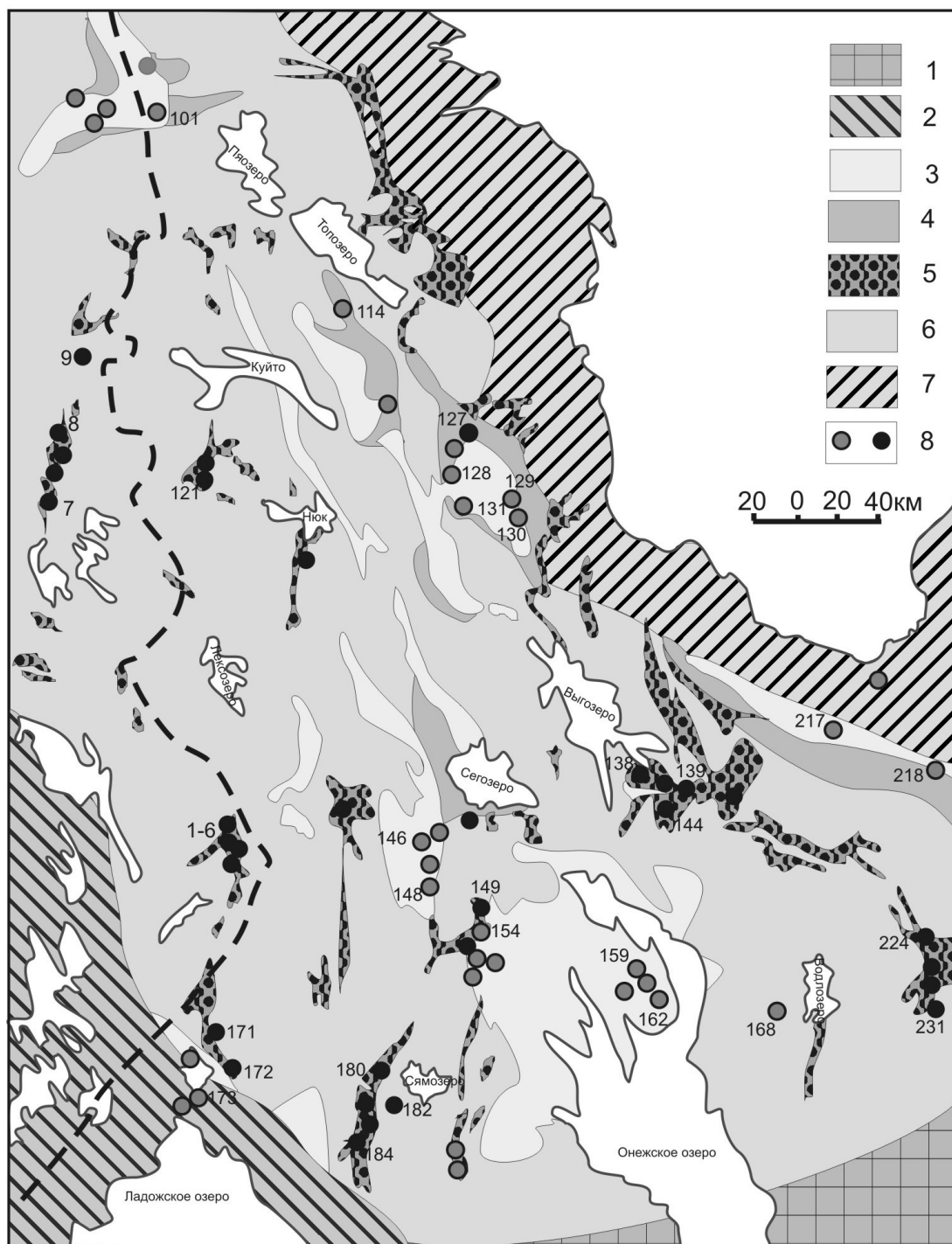


Рис. 2. Схема размещения золоторудных месторождений и проявлений на территории Карелии (с использованием данных: Коровкин и др., 2003; Минерально-сырьевая база..., 2005; Sundblad, 2003):

1 – платформенный чехол; 2 – Свеклофенский складчатый пояс; 3–6 – Карельская гранит-зеленокаменная область: 3 – ятулий, людиковий, калевий, вепсий нерасчлененные, 4 – сумий и сариолий нерасчлененные, 5 – лопий, 6 – комплекс основания; 7 – Беломорский мобильный пояс; 8 – месторождения и проявления золота – AR (черный кружок), PR (серый); цифрами у кружков обозначены отдельные золоторудные объекты: 1–5 – р-н Иломантси (Пампало, Валкеасуо, Куйтила, Рямелуро, Келокорпи); 7 – Сеппонен; 8 – Паловаара; 9 – Моуккори; 101 – Майское; 114 – Шомбозерское; 121 – Таловейс; 127 – Лобаш-1; 128 – Нигалма; 129 – Шуезерское; 130 – Риговарака; 138 – Заломаевское; 139 – Южно-Заломаевское; 144 – Рыбозерское; 146 – Питкулампинское; 148 – Ятулий-1; 149 – Педролампи; 154 – Эльмус; 159 – Весеннее; 162 – Космозерское; 168 – Меридиональная зона; 171 – Соанварское; 172 – Ялонвара, Хатуноя; 173 – Пякюля, Янис; 180 – Центральное; 182 – Новые Пески; 184 – Веддозерское; 217 – Нименьга; 218 – Кожозерское; 224 – Надвиговое; 231 – Кенозерское

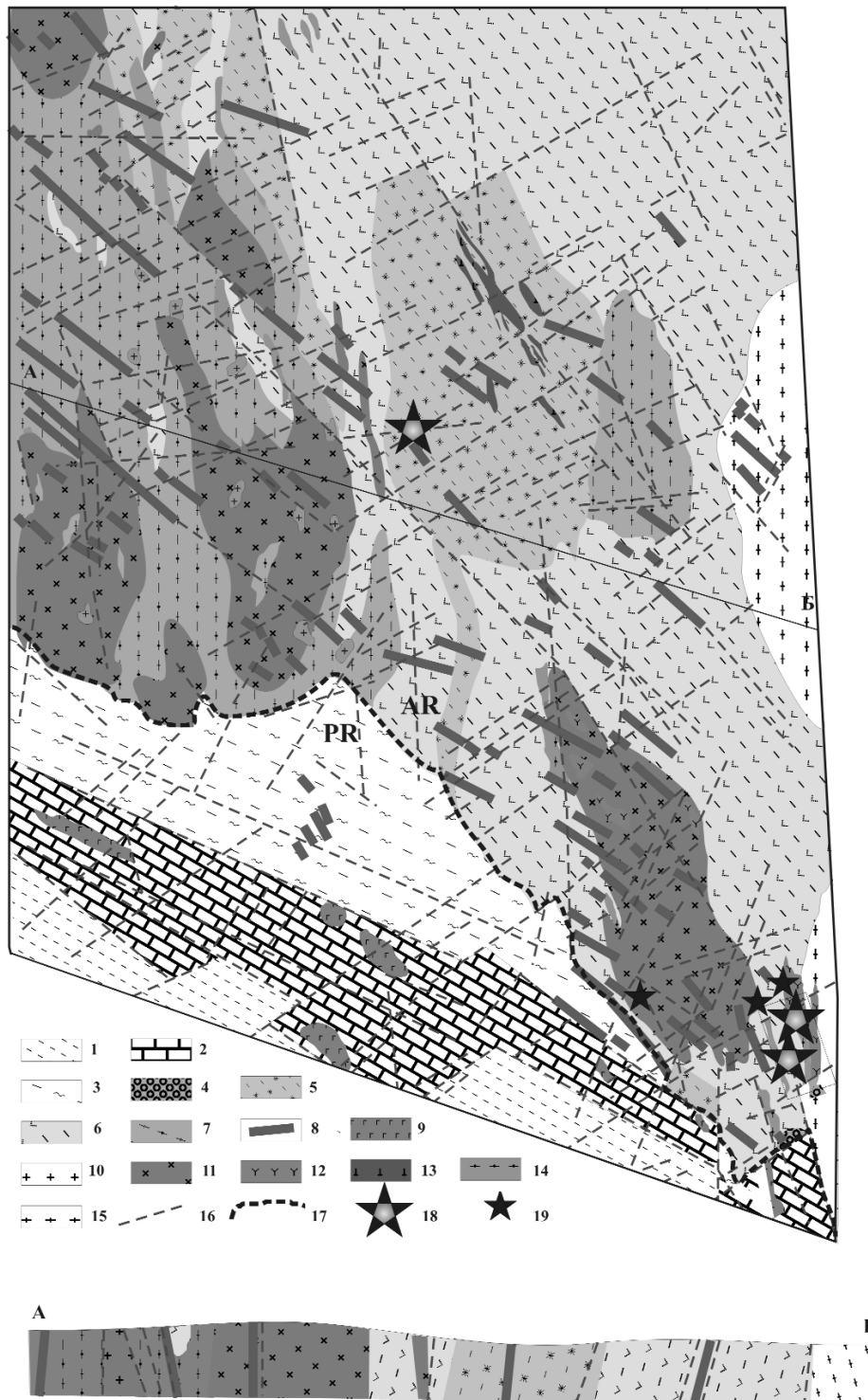


Рис. 3. Схема геологического строения российской части архейского зеленокаменного пояса Яловара – Иломантси – Костомукша (р-н Хатуноя – Соанъярви):

1 – тонкоритмичные кварц-полевошпат-биотитовые сланцы (ладожская серия); 2 – углеродсодержащие сланцы, карбонатные породы, метабазалты (соанлахтинская свита); 3 – кварцитопесчаники, конгломераты, карбонатные и филлитовидные сланцы, доломиты (малоянисъярвинская свита); 4 – валунные конгломераты Хатуноя; 5, 6 – яловарская свита: 5 – кварц-слюдистые и углеродсодержащие сланцы, кислые метавулканыты, метадиабазы, прослои серноколчеданных руд и железистых кварцитов (верхняя подсвита), 6 – металавы андезибазальтов и андезитов, агломератовые туфы, лавобрекчи (нижняя подсвита); 7 – гнейсоамфиболиты и мигматиты по ним; 8 – дайки диабазов; 9 – силлы и дайки габбродиабазов; 10 – микроклиновые граниты; 11, 12 – Яловарский гранитоидный комплекс: 11 – граниты, гранитпорфиры; 12 – диориты (санукитоиды); 13 – перидотиты, пироксениты, габбро; 14 – габброамфиболиты; 15 – гнейсограниты архейского фундамента; 16 – тектонические нарушения; 17 – граница архея и протерозоя; 18 – рудопроявления золота; 19 – пункты минерализации золота

Оруденение первого типа – комплексное (Mo, Cu, W, Au) золото-порфиоровое, локализовано в эндоконтакте диоритов (санукитоидов?) Ялонварского вулcano-плутонического комплекса, прослеживаясь от оз. Ялонвараярви на юг более чем на 1,5 км. Возраст оруденения – 2772 ± 11 – 2773 ± 11 млн лет (Re-Os метод по молибдениту, Университет шт. Колорадо, США). Рудоносные кварцевые жилы преимущественно северо-восточного простирания мощностью 0,05–1 м образуют морфологически сложные штокверковые зоны. Диориты в межжильном пространстве интенсивно серицитизированы и окварцованы. Параметры зоны развития кварцево-жильного штокверкового оруденения – 200×800 м; распространенность на глубину по аналогии с известными докембрийскими месторождениями такого же типа может составлять $n100$ м. Высокопробное ($Ag < 2\%$) самородное золото в ассоциации с самородным висмутом, висмутином и сульфотеллуридами висмута приурочено к зальбандам кварцевых жил, хранящих следы проявленных сдвиговых деформаций. Размер золотин – до 0,1 мм, форма изометричная, каплевидная, прожилковая (рис. 4). Содержание золота крайне изменчивое, достигает 5,3 г/т при среднем по штокверку $\sim 0,2$ г/т. Кроме этого, золото-содержащие ассоциации имеют повышенные содержания серебра – 40 г/т (ср. – 9,5) и теллура – 90 г/т (ср. – 16). Минералы-спутники золота – висмутотеллуриды, висмутин, висмут самородный, шеелит; элементы-индикаторы – Ag, Bi, Te, W. Отмечается значимая положительная корреляция содержаний золота с серебром, теллуrom и висмутом. Наличие рудных валунов (вес >500 кг) в 300 м к юго-востоку от уч. Хатуноя с процентными концентрациями Mo, Cu и содержанием золота 2,77–3,43 г/т свидетельствует о более широком распространении оруденения данного типа, характеризующегося к тому же присутствием богатых комплексных руд. Прогнозные ресурсы золота для оруденения золото-порфиорового типа на уч. Хатуноя по категории P_2 до глубины 100 м составляют 4,50 т, серебра – 57 т, теллура – 96 т.

Оруденение второго типа – золото-полисульфидное, приурочено к низкотемпературным метасоматитам (пропилитоидам-березитоидам, часто с обильным турмалином), развивающимся преимущественно по андезидацитовым агломератовым метатуфам в крутопадающих сдвиговых зонах северо-западной – субмеридиональной ориентировки. По главным геологическим особенностям и генезису оно аналогично золоторудным месторождениям района Иломанси в Финляндии и относится по классификации Д. Гровса (Groves et al., 2003) к орогеническому типу золоторудных месторождений мезозональной фации глубинности. Методами магнито- и электроразведки золотоносные сдвиговые дислокации фиксируются двумя аномальными зонами северо-

западного – субмеридионального простирания мощностью до 100 м и протяженностью до 700 м, имеющими кулисообразное строение и практически соединяющими два ранее известных медно-полиметаллических рудопроявления – Хатуноя-1 и Хатуноя-2. Крупное (до 1 мм) самородное золото (рис. 4) ассоциируется с пиритовой (в меньшей степени с медно-полиметаллической) минерализацией и редко с висмутином и арсенопиритом. Спорадически в рудах встречаются также самородные медь и свинец (микровключения ~ 10 мкм в сфалерите). Максимальное содержание золота составляет 4,75 г/т (штуфное опробование) на мощность 1 м; 1,08 г/т (бороздочное опробование) на 1,9 м; 0,53 г/т (1,01 с учетом штуфных проб) – на 8 м, серебра – 40 г/т (среднее – 1,89). Прогнозные ресурсы золота по категории P_2 до глубины 100 м равны 4,05 т. В целом по уч. Хатуноя прогнозные ресурсы золота по категории P_2 на глубину 100 м составляют 8,55 т, серебра – 72 т, теллура – 96 т, молибдена – 16 000 т, рения – 1,5 т (Иващенко и др., 2004а).

Среди золоторудных объектов в других архейских зеленокаменных поясах Фенноскандинавского щита по масштабам и степени изученности выделяются месторождения Рыбозеро, Лобаш-1, Педролампи и Таловейс в Карельской гранит-зеленокаменной области (Горошко и др., 1998; Фурман, 2001; Кулешевич, Костин, 2003; Кулешевич и др., 2004; Минерально-сырьевая база..., 2005 и др.) и Оленинское, Няльм и Пеллапах – в Кольской (Волков, Новиков, 2002; Гавриленко, 2003; Коровкин и др., 2003).

Расположенное в **Южно-Выгозерском** зеленокаменном поясе месторождение *Рыбозеро* (рис. 2) относится к золото-сульфидно-кварцевой прожилково-вкрапленной стратиформной рудной формации в коматиитах, базальтах и алюмокремнистых породах и при геолого-промышленной типизации сопоставляется с золоторудными месторождениями типа Шеба (Минерально-сырьевая база..., 2005). Однако его геологические особенности и характеристические параметры полностью соответствуют золоторудным месторождениям орогенического типа в зонах сдвиговых дислокаций по Д. Гровсу (Groves et al., 2003). Оруденение на месторождении Рыбозеро контролируется субмеридиональной зоной (протяженность ~ 5 км) расщепления и метасоматических преобразований (пропилитизация, лиственитизация, березитизация), приуроченной к ядерной части синформы, сложенной вулканическими кумбуксинской, каменноозерской и вожминской свит лопия (Минерально-сырьевая база..., 2005). В метасоматитах выявлено два крутопадающих линзовидно-пластовых рудных тела с прожилково-вкрапленным оруденением. Первое – преимущественно среди лиственитизированных основных и ультраосновных метавулканитов хлорит-талък-карбо-

натного состава, имеет среднюю мощность 1,5 м, прослеживаясь по простиранию на 850 м и падению 300 м. Второе – примыкающее к висячему боку серноколчеданной залежи в пропилитизированных и березитизированных вулканитах среднего и кислого состава, при мощности 0,8 м прослеживается на 340 м по простиранию и 150 м по падению. Оруденение первого рудного тела представлено золотоносным (до 14 г/т) пиритом, халькопиритом, реже сфалеритом и самородным золотом (Кулешевич, Костин, 2003; Минерально-сырьевая база..., 2005 и др.). Содержания золота в нем варьируют от 1,4 до 3,87 г/т (средневзвешенное – 2,32 г/т). Минеральный состав руд второго рудного тела более сложен – пирит, пирротин, халькопирит, галенит, арсенопирит, сфалерит, бурнонит, висмутин, тетраэдрит, алтаит, ульманит, колорадоит и самородное золото. Содержание золота в рудах – 1,0–2,6 г/т (максимальное – 14,0 г/т; средневзвешенное – 1,8 г/т). Возраст оруденения 2,6–2,7 млрд лет (Pb/Pb метод по галениту). Запасы золота на месторождении Рыбозеро по С₂ составляют 3,28 т, прогнозные ресурсы по Р₂ + Р₃ – 15 т (Минерально-сырьевая база..., 2005).

Месторождение *Лобаш-1* расположено в Тунгудско-Воингозерской структуре **Авнеозеро-Парандовского** зеленокаменного пояса (рис. 2) и, являясь частью рудно-магматической системы Лобашского гранитного плутона (Кулешевич и др., 2004; Минерально-сырьевая база..., 2005), соответственно относится к порфировому (intrusion-related) типу месторождений. Штокверковая золоторудная минерализация локализована в экзоконтактовом ореоле гранитоидов на удалении 300–400 м от их кровли. Непосредственно в эндо-экзоконтакте гранитного плутона развито штокверковое молибденовое оруденение (молибденовое месторождение Лобаш). Возраст лобашских гранитов по циркону (ТИЭ, U/Pb) оценивается в $2907,7 \pm 1,4 - 2595,3 \pm 7,5$ млн лет (Ларин, 1990; Беляцкий и др., 2002), а рудной минерализации: молибденит (Re/Os) – $2815-1570 \pm 85$ млн лет (Н. Stein, Университет шт. Колорадо, США; Покалов, 1992); галенит (Pb/Pb) – 1,9–1,5 млрд лет (Ларин, 1990; Кулешевич и др., 2004). Граниты интродуцируют субгоризонтально залегающие метавулканиды пебозерской серии лопия, представленные пластовым чередованием пород разной кремнекислотности при ограниченном распространении их кислых разновидностей – кварцевых порфиров. Последние слагают пластообразные тела мощностью 1,0–30,0 м. Золотонесущая минерализация сосредоточена в карбонат-сульфидно-кварцевых прожилках, жилах и зонах прокварцевания мощностью до 1–2 м, сопряженных с расщеплением, биотитизацией и пропилитизацией, интенсивно проявленных вдоль контактов пород разной кремнекислотности и особенно вблизи кварцевых порфиров и риодацитов

(Минерально-сырьевая база..., 2005). Рудоносный пологозалегающий штокверк размером 800 × 800 м прослеживается до глубины 250–300 м и характеризуется на весь свой объем повышенными содержаниями золота – 0,01–0,1 г/т. Более высокие его концентрации – до 1 г/т – зафиксированы в нескольких зонах мощностью >10 м. В рудных телах, имеющих преимущественно линзовидно-пластовую морфологию, со средней мощностью 0,9–1,8 м и протяженностью 20–235 м среднее содержание золота составляет 4,71 г/т, меди – 0,4%, серебра – 10 г/т. Руды мелкозернистые полисульфидные (галенит, сфалерит, халькопирит, пирит, пирротин, висмутотеллуриды, электрум, самородные золото и висмут) (Кулешевич и др., 2004). Запасы золота на месторождении по категории С₂ оцениваются в 5,06 т, серебра – 10,7 т, меди – 4,3 тыс. т (Минерально-сырьевая база..., 2005).

Запасы золота в месторождениях архейских зеленокаменных поясов Фенноскандинавского щита составляют 70 т (Финляндия ~60 т, Карелия ~10 т); прогнозные ресурсы (Р₁₊₂, только для российской территории) оцениваются в ~90–200 т (Коровкин и др., 2003; Минерально-сырьевая база..., 2005).

МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКИХ ЗЕЛЕНОКАМЕННЫХ ПОЯСАХ

Палеопротерозойские зеленокаменные пояса сложены породами Лаппонийской супергруппы, представленными преимущественно коматиитовыми и толеитовыми метавулканидами и метаосадками на зарубежной территории и аналогичными породами на российской, относящимися к сумию – людиковию. Наиболее крупными и важными по насыщенности месторождениями золота являются Лапландский и Печенга-Варзугский зеленокаменные пояса, но и в других (Карасьйоки, Каутокейно, Кируна, Куусамо, Перяпохья) также отмечаются промышленно значимые золоторудные объекты (Eilu, 1999). Рудовмещающие породы в них имеют возраст 2,4–2,1 млрд лет, а золоторудная минерализация, относящаяся преимущественно к орогеническому мезозональному типу, – 1,9–1,8 млрд лет (Bjorlykke et al., 1990; Eilu et al., 2003).

В **Лапландском** зеленокаменном поясе известно около 20 золоторудных месторождений (рис. 5), часть из которых разрабатывалась (Сааттопора, Пахтаваара, Юомасуо 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* (71,3 т; 6,1 г/т), локализованное в метасоматически измененных (альбитизация, карбонатизация, сульфидизация) графитистых сланцах и туффитах, залегающих между Fe- и Mg-толеитовыми метавулканидами формации Порконен с

возрастом >2,0 млрд лет (рис. 6). Рудные тела – крутопадающие пластообразные, локализованы в пределах субвертикальной минерализованной зоны шириной 15–60 м и протяженностью >2 км, являющейся частью субмеридиональной сдвиговой дислокации Суурикуосикко длиной 12–15 км. Главные рудные минералы на месторождении – арсенопирит, пирит, графит, второстепенные – мальдонит, самородный висмут. 93% всего золота находится в химически связанном виде в арсенопирите и пирите, так называемое «невидимое золото» (invisible gold). Возраст оруденения ~1952–1890 млн лет.

На продолжении Лапландского зеленокаменного пояса в Карелии (Pankka, Vanhanen, 1989) в зоне сочленения Карельского кратона и Беломорского мобильного пояса известно несколько золоторудных проявлений орогеничес-

кого мезозонального и палеороссыпного типов, крайне незначительных по размерам (Голубев, Кулешевич, 2001; Минерально-сырьевая база., 2005).

Зеленокаменный пояс **Куусамо** отличается от Лапландского большим распространением метаосадочных пород и характеризуется наличием мелких (субэкономических) месторождений на территории Финляндии (Юомасу, Конттиахо, Коуверваара) и Карелии (Майское) (Turchenko et al., 1991; Pankka, Vanhanen, 1992; Gavrilenko et al., 1999; Vanhanen, 2001). Оруденение сформировано в процессе Fe-Mg-Si-го, калиевого и углекислотного метасоматоза, сопряженного с проявлением сдвиговых деформаций в нижних частях разреза зеленокаменных толщ в период главной компрессионной стадии свекокарельского орогенеза – 1,90–1,88 млрд лет (Eilu et al., 2003).

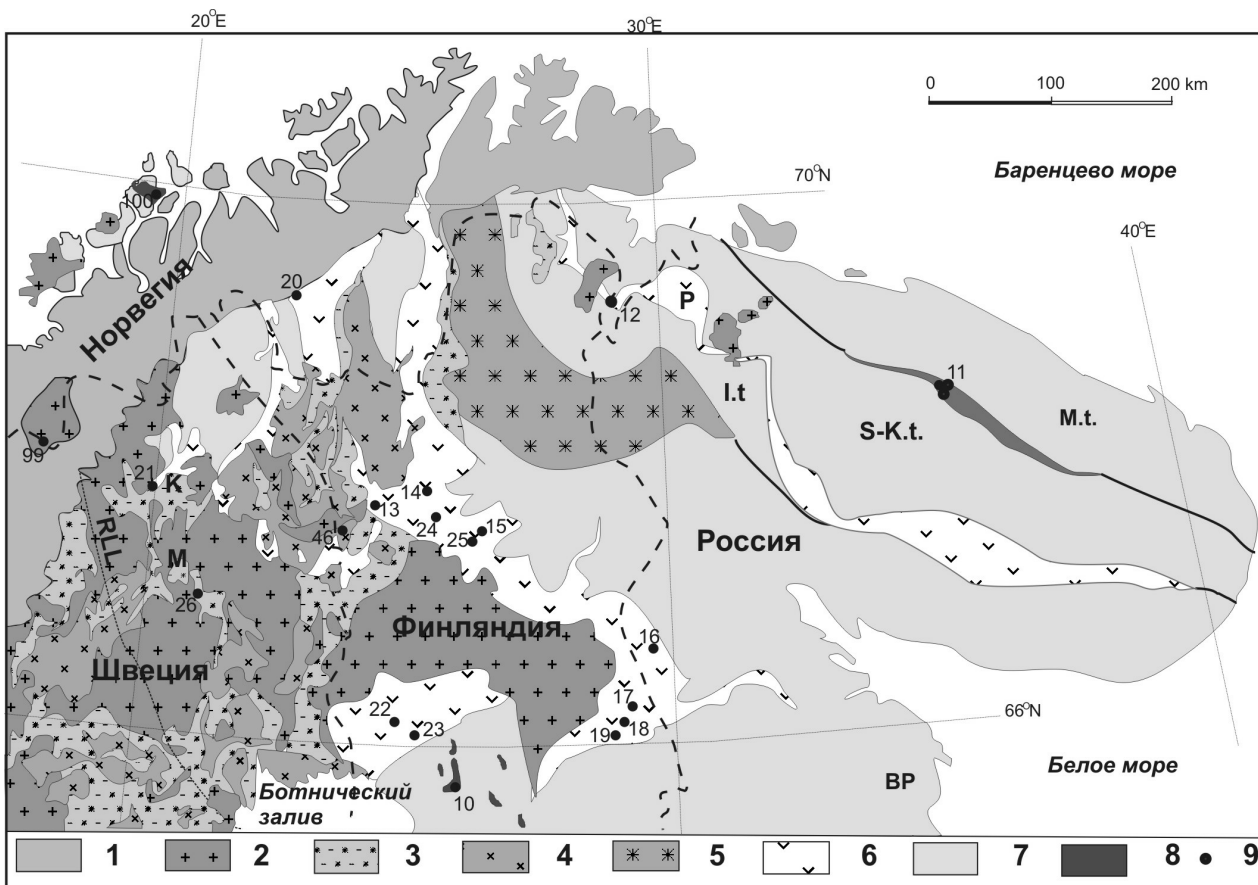


Рис. 5. Схема размещения золоторудных месторождений в северной части Фенноскандинавского щита (по: Eilu, 1999; Weihed, 2001; Sundblad, 2003):

1 – каледониды и фанерозойские породы; 2 – палеопротерозойские (поздне- и постсвекофенские) гранитоиды; 3 – палеопротерозойские метаосадочные и фельзитические метавулканические породы; 4 – палеопротерозойские (свекофенские гранитоиды); 5 – Лапландский гранулитовый пояс; 6 – палеопротерозойские зеленокаменные пояса; 7 – архейские гнейсы и гранитоиды; 8 – архейские зеленокаменные пояса; 9 – золоторудные месторождения.

Буквами обозначены: l.t. – Инари террейн; M.t. – Мурманский террейн; S-K.t. – Сорварангер-Кола террейн; BP – Беломорский пояс; K – Кируна пояс; М – Мальмбергет апатит-железорудное поле; P – Печенга (Petsamo) – медно-никелевое рудное поле; RLL – Раахе-Ладожская линия.

Цифрами обозначены золоторудные месторождения: (Россия) 11 – Пеллапах, Няльм, 16 – Майское; (Финляндия) 10 – Каракхалехто, 13 – Сааттопора, 14 – Суурикуосикко, 15 – Пахтаваара, 17 – Юомасу, 18 – Конттиахо, 19 – Коуверваара, 22 – Кивимаа, 23 – Вяяхйоки, 24 – Оутапя, 25 – Каарестунтури, 46 – Куэрвитикко; (Швеция) 21 – Пахтохаваре, 26 – Айтик; (Норвегия) 20 – Биддзовагге, 99 – Гаутеллисфьелл

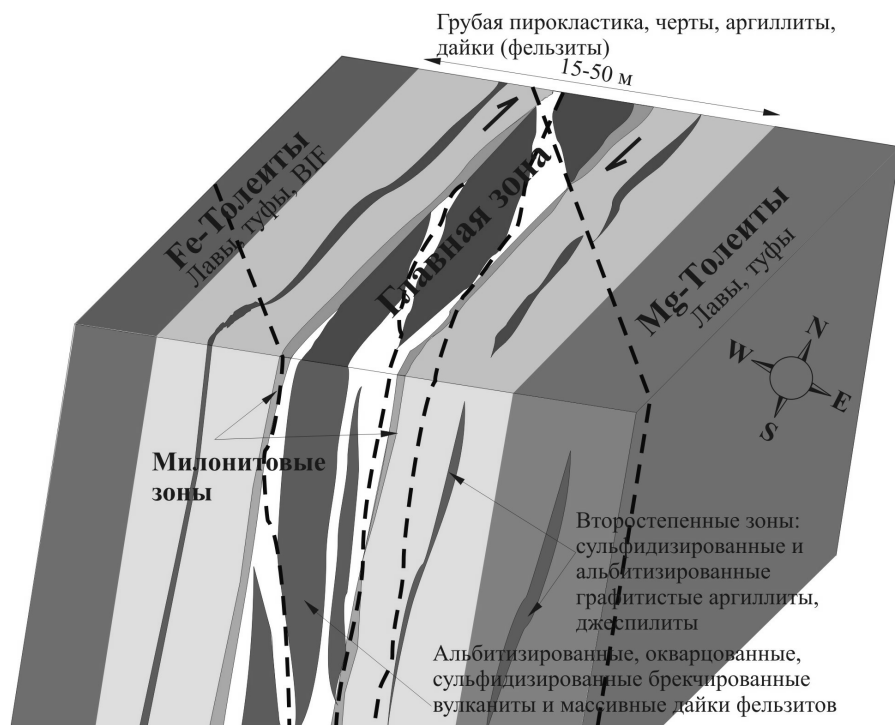


Рис. 6. Схематическая блок-модель главного рудного тела месторождения Суурикуосикко, Финляндия (данные GSF за 2001 г.)

Месторождение *Майское* расположено в Лоухском районе в восточной краевой части Куоляярвинского синклиория (рис. 5) и приурочено к субмеридиональной сдвиговой дислокации. Золотоносными являются кварцево-жильные зоны протяженностью 2,5–3 км, залегающие в основных вулканитах (рис. 7), претерпевших тремолитизацию, биотитизацию, альбитизацию и карбонатизацию. Крутопадающие (50–80°) мощностью до 5–6 м пластинообразные и линзовидные кварцевые жилы, местами четковидные с раздвухами и пережимами, протяженностью 50–200 м вмещают восемь рудных тел с размерами от 0,1 × 0,5 м до 43 × 3,0–5,5 м. Оруденение золото-кварцевого малосульфидного типа ассоциируется с мелкозернистым гранулированным кварцем. Содержание сульфидов (халькопирит, пирротин, кобальтин, кубанит, галенит, сфалерит, тетрамит, теллуриды Ni, Pb, Au) – 0,5–1%, в отдельных гнездах – 3–5%. Продуктивной является золотоносная теллуридно-галенитовая минеральная ассоциация. Золото в виде чешуек, кристаллов, дендритов размером 0,1–1,5 мм; пробность 840–960. Его содержание – крайне варьирующее – от следов до сотен г/т. Элементы-спутники золота – Cu (до 1%), Pb (до 0,3%), Ag (0,008%), As (0,015%), Sb, Bi, Mo, W. Руда легкообогатима, свыше 90% золота извлекается гравитационным способом. Запасы по С₂ до глубины 30 м – 196,8 кг при среднем содержании 7,625 г/т Au. Прогнозные ресурсы – 537 кг Р₁ + Р₂. В 1995–1997 гг. велась старательская добыча золота (АОЗТ «Вуосна»

ЛТД) – 53,3 кг (Сафонов и др., 2001; Минерально-сырьевая база..., 2005).

В *Печенга-Варзугском* зеленокаменном поясе в конце прошлого века выявлены аномальные зоны с золото-мышьяковистой минерализацией (руд. Брагинское), с которыми связывается промышленный потенциал этой структуры на золото (Gavrilenko et al., 1999; Ihlen, 1999).

Каутокейно зеленокаменный пояс характеризуется наличием нескольких золоторудных проявлений и одного промышленного месторождения *Биджовагге* орогенического типа (Bjorlykke et al., 1987, 1990; Ekberg, Sotka, 1991; Nilsen, Bjorlykke, 1991; Cumming et al., 1993; Etner et al., 1993, 1994; Cook, 1999). Месторождение эксплуатировалось на медь в 1973–1975 гг. В 1985 г. в медных рудах (1,1% Cu) были установлены повышенные содержания золота (3 г/т). Мелкие рудные тела (30–40 × 120 м) субмеридионального простирания приурочены к нижней части формации Каскейас (2–2,1 млрд лет), состоящей из основных туфов, туффитов с прослоями доломитов и графитистых сланцев. Они контролируются субмеридиональными и СЗ зонами сдвиговых деформаций, локализованными между горизонтами диабазов и графитистых сланцев и сопровождающимися карбонатизацией, биотитизацией, скаполитизацией, серицитизацией и альбитизацией. Альбититы – очень тонкозернистые (0,01 мм), обычно содержат рутил, биотит, серицит, зеленоватый мусковит (Cr, V). Рудная минерализация подразделяется на два типа: меднорудный в

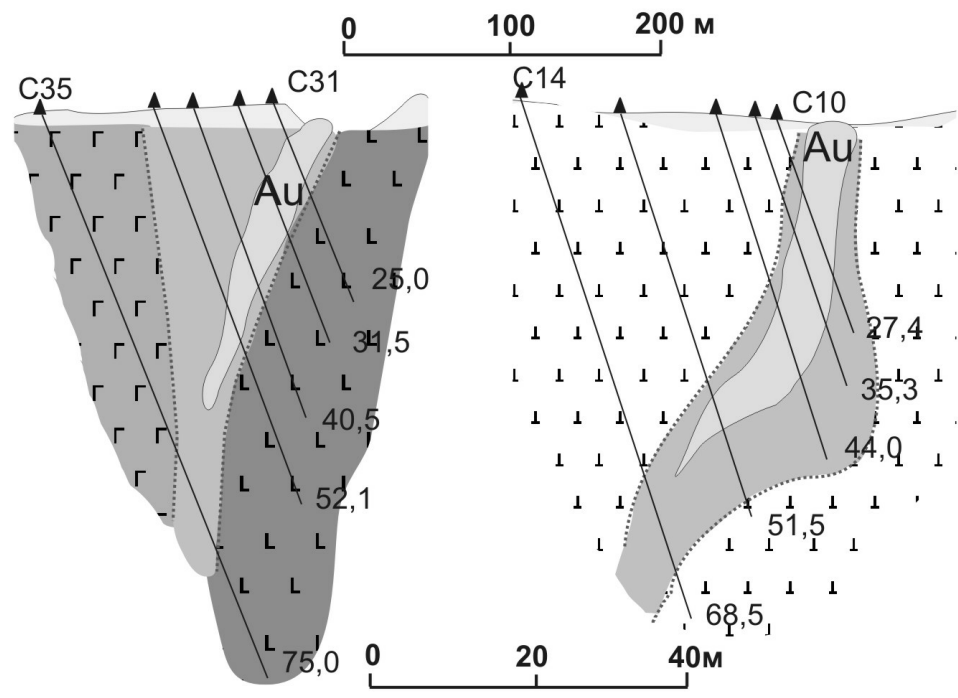
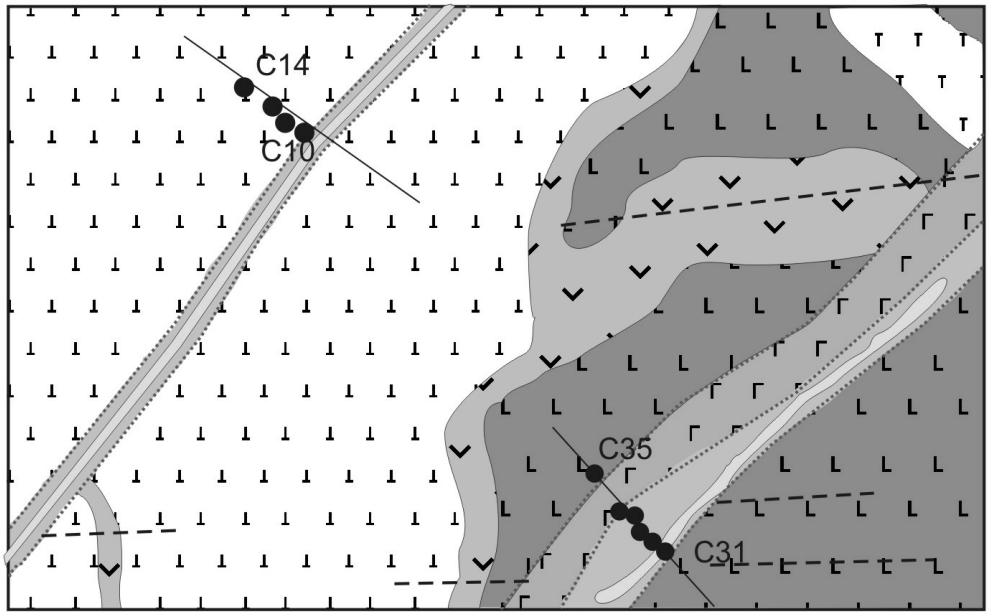


Рис. 7. Схема геологического строения золоторудного месторождения Майское (по: Безруков, 1989):

1 – metabazaltsy; 2 – tufozlantsy; 3 – metabazaltsy melanoqratoverye; 4 – apopiroksenitovyie porody; 5 – metagabro; 6 – zolotorudnyie kvarcovyye zily; 7 – katalazity i blastokatalazity; 8 – tektonicheskiye narusheniya; 9 – kontury okolozilynykh metasomaticheskikh izmeneniy; 10 – proburennyie skvaziny

крупнозернистых карбонат-альбит-актинолит-кварцевых жилах с обильным халькопиритом, пиритом и редкими выделениями теллуридов и золота ($Cu > 1\%$, $Au < 1-2$ г/т); золоторудный – в образующих микробрекчиевую текстуру мелких тонкозернистых кварц-карбонат-альбитовых жилах и прожилках с пиритом, халькопиритом, апатитом, зеленым мусковитом, теллуридами и золотом ($Cu \sim 0,5\%$, $Au > 1-2$ г/т). Возраст раннего золотого оруденения ~1,9 млрд лет.

В зеленокаменном поясе **Кируна** известно два разрабатывавшихся промышленных золоторудно-медных месторождения орогенического типа – *Вискария* и *Пахтохаваре* (Sundblad, 2003), локализованных в альбитизированных фельзических метавулканитах, подвергшихся хрупко-пластическим деформациям сдвигового характера.

В сланцевом поясе **Перипохья**, в разрезе которого преобладают метатерригенные образования, выявлено два золоторудных месторождения – орогеническое *Кивимаа* (Rouhunkoski, Isokangas, 1974), разрабатывавшееся на медь и золото в 1969 г., и эпигенетическое *Ванайоки* (Fe-Cu-Au), связанное с бурыми железняками (Eilu et al., 2003).

МЕСТОРОЖДЕНИЯ В СВЕКОФЕННИДАХ И ТРАНССКАНДИНАВСКОМ МАГМАТИЧЕСКОМ ПОЯСЕ (ТІВ)

Около 2,0 млрд лет назад юго-западная часть архейского Карельского кратона Фенноскандинавского щита подверглась рифтингу по Раахе-Ладожской линии (рис. 1) с открытием Свекофеннского океана (ныне сутура) и последующим (1,96–1,80 млрд лет) конвергентным взаимодействием новообразованной свекофеннской океанической коры с Карельским (лопийским) континентом. В характеристике геологического развития свекофеннид отмечается несколько важных аспектов (Sundblad, 2003).

1. Океаническая кора, сформированная при раскрытии Свекофеннского океана, сохранилась на востоке Финляндии – офиолиты Йормуа (Kontinen, 1987) и прослеживается в район Оутокумпу – амфиболиты с несколькими месторождениями VMS типа.

2. Магматические дуги края лопийского континента и непосредственно примыкающие к нему представлены фельзическими метавулканитами и свекофеннскими гранитоидами, наиболее широко распространенными в районе Кируна – Малбергет Северной Швеции, сопоставимом с современной геологической обстановкой в Чили (Nystrom, Henriquez, 1994) и характеризующемся аналогичной металлогенией – мирового класса месторождения железных руд Кируна, Малбергет в Швеции и Эль-Лако в Чили. К континентальному краю приурочены также крупное медно-золоторудное месторождение Айттик в Северной Швеции

и VMS месторождения Виханти и Пюхясалми в Главном сульфидном поясе Финляндии.

3. Морской вулканогенно-осадочный варьирующий от глубоко- к мелководному седиментогенез островодужного типа, проявленный на достаточном удалении от континентальной окраины, предотвращавшем его коровую contamination, – район Шеллефте и сланцевый пояс Тампере. Эта палеообстановка, вероятно, аналогична современной Японии при сопоставлении VMS месторождений районов Шеллефте и Курокко (Rickard, Zweifel, 1975), а также дуге Тонга-Кермадек на западе Тихого океана (Allen et al., 1996).

4. Турбидитные отложения формировались главным образом за счет континентального детрита (юг района Шеллефте и магматическая дуга Тампере).

5. Фельзит-промежуточные образования края континента формировались синхронно турбидитам или флювиальным отложениям с участием значительных количеств архейского детрита. Эта палеообстановка представлена свекофеннскими гранитоидами, фельзическими метавулканитами и метаосадками в провинции Бергслеген, являющейся одной из наиболее важных металлогенических областей Фенноскандии, включающей месторождения мирового класса Грангесберг и Даннемора (Fe), Сала (Ag), Фалун и Гарпенберг (Cu-Zn-Pb), Цинкгруван (Zn-Pb). Континент, вдоль которого все это формировалось, вероятно, был не лопийским, а каким-то другим, впоследствии отделившимся от области Бергслеген (Kumpulainen et al., 1996).

6. Примитивная океаническая кора сформировалась, вероятно, при заложении рифта, отделившего континентально-краевую область Бергслеген от неизвестного древнего континента. Небольшой фрагмент палеоокеанических образований сохранился в районе Фродерид на юге Швеции, где известно несколько мелких месторождений VMS-типа (Sundblad et al., 1997).

По завершению формирования свекофеннской коры она была аккретирована к лопийскому континенту и в коллизионных условиях подверглась метаморфизму и деформациям с обдукцией офиолитов на континент в Свекокарельскую орогению и многократным проявлением поздне- и посторогенного гранитоидного магматизма. Трансскандинавский магматический пояс – самый крупный из посторогенных гранитоидных комплексов свекофеннид, формировался в течение длительного периода времени (1,85–1,67 млрд лет) и представляется как прибрежный батолит. Золото в свекофеннидах и Трансскандинавском магматическом поясе связано с разнообразными геологическими процессами, проявленными в течение формирования и кратонизации свекофеннской коры. Его разные по генетической природе месторождения известны во многих районах Свекофеннского складчатого пояса.

Порфировые месторождения золота (Intrusion-related gold)

Гидротермально-метасоматические золоторудные месторождения, связанные с интрузивными породами, известны в различных районах Свекофеннского складчатого пояса – Гелливаре, Таллберг, Шеллефте, Копса, Юоухинева, Раахе-Хаапаярви (Gaal, Isohanni, 1979). Обычно это вкрапленная и штокверковая Cu-As-Au минерализация, образованная в связи с малоглубинным магматизмом возраста 1,89–1,87 млрд лет.

Гелливаре регион. Здесь на севере Швеции находится медно-золоторудное месторождение *Айтик* – самое крупное в настоящее время на территории Фенноскандии (рис. 1). Суммарные запасы составляют 700 млн т руды с 0,4% Cu, 0,2 г/т Au, 4 г/т Ag (Cu – 2800 тыс. т; Au – 140 т; Ag – 2800 т); ежегодное производство: Cu – 72 тыс. т, Au – 3,6 т, Ag – 72 т; всего добыто 1288 тыс. т Cu, 64,4 т Au, 1288 т Ag (Wanhainen et al., 1999). Сульфидная минерализация (халькопирит, пирит, пирротин) с самородным золотом сосредоточена в кварцевых штокверках, прожилках и жилах мощностью <0,5 м, рассекающих микроклиновые гнейсы, биотитовые и серицитовые сланцы, интерпретируемые как метаморфизованные фельзиты, габбро и кварцевые монцодиориты, а также отмечается в них в виде рассеянной вкрапленности (Zweifel, 1976). Околорудные изменения пород выражены в серицитизации, биотитизации, калишпатизации, эпидотизации, скаполитизации, турмалинизации и формировании амфибол-пироксеновых прожилков. Возраст вмещающих пород – 1,87 млрд лет (U-Pb, циркон), рудной минерализации – 1,88–1,87 млрд лет. Существует несколько генетических моделей, объясняющих происхождение оруденения – от осадочного (Zweifel, 1976; Wanhainen et al., 1999) до гидротермального (порфиновый тип) (Wanhainen et al., 1999). Главное накопление рудных концентраций происходило до метаморфизма, обусловившего впоследствии ремобилизацию оруденения. Порфировая модель рудообразования связывается с магматической деятельностью окраинно-континентального типа по юго-западной границе лопийского кратона, что сопоставимо с современной геодинамической обстановкой и соответствующей металлогенией в Чили (Sundblad, 2003).

Месторождение *Бьеркдал*, расположенное в восточной части провинции **Шеллефте** (рис. 8), разрабатывалось с 1988 по 1999 г. В 90-х годах прошлого века оно было самым крупным производителем золота в Европе. Оруденение кварцево-жильного типа с признаками проявления сдвиговых деформаций (возможно полигенное), локализовано в тоналитах. Жилы мощностью до 1 м преобладающего северо-восточного простирания характеризуются

развитием теллуридно-шеелитовой ассоциации и отсутствием арсенопирита (Wikstrom, Sundblad, 1999; Weihed et al., 2003).

Месторождения VMS-типа

Для всех свекофенских палеообстановок характерны сульфидные месторождения VMS-типа, в которых помимо главных рудных компонентов (Cu, Zn) в значительных количествах, учитывая масштабы некоторых месторождений, отмечаются Pb, Ag и Au.

Месторождения района **Оутокумпу** были открыты в 1910 г. и разрабатывались до 1988 г., дав около 50 млн т сульфидной руды (Gaal, Parkkinen, 1993). На самом крупном из них – *Оутокумпу* – было добыто 28,5 млн т руды со средним содержанием золота 0,8 г/т (Au – 28,2 т). Генетическая модель формирования и оруденения офиолитовой ассоциации Йормуа соответствует таковой для месторождений Кипрского типа (Gaal, Parkkinen, 1993).

Главный сульфидный пояс с месторождениями *Виханти* и *Пюхясалми*, давшими в прошлом веке около 60 млн т руды с содержанием Au ~0,5 г/т (добыто ~30 т Au), связан с фельзическими метавулканитами, часто параллелезуемыми с вулканической ассоциацией провинции Шеллефте (Kahta, 1973). Однако в действительности вулканизм Главного сульфидного пояса является окраинно-континентальным, проявленным вдоль линии Раахе – Ладога от Тьямотис в северной Швеции до Варкауса в ЮВ Финляндии, и не должен коррелироваться с островодужной ассоциацией Шеллефте (Sundblad, 2003).

В районе **Шеллефте** находится несколько десятков месторождений, издавна относимых к VMS-типу (рис. 8), хотя современные исследования (Weihed, Maki, 1997) свидетельствуют о возможной их принадлежности и к эпитегрмальным и орогеническим мезозональным. Типичные же VMS-месторождения района Шеллефте (Ренстром, Удден, Холмтъярн, Маурлиден, Наслиден, Сторлиден, Кристинеберг) сопоставимы с месторождениями типа Курокко, а крупнейшее в Европе по добыче золота (95 т) месторождение Болиден может быть эпитегрмальным (Bergman et al., 1996). Содержание золота в массивных сульфидных рудах **Шеллефте** на некоторых месторождениях (Холмтъярн – 8 г/т; Наслиден – 4,6 г/т) бывает необычно высоким, что указывает на маловероятность такого концентрирования только в результате простой гидротермально-вулканической деятельности и реальную возможность этого в связи с эпигенетическими преобразованиями ранее сформированных руд и привносом золота (Weihed et al., 2002).

В провинции **Бергслеген** большое число месторождений VMS-типа, содержащих повышенные концентрации золота, разрабатывалось десятки и сотни лет. Рекордсменом среди

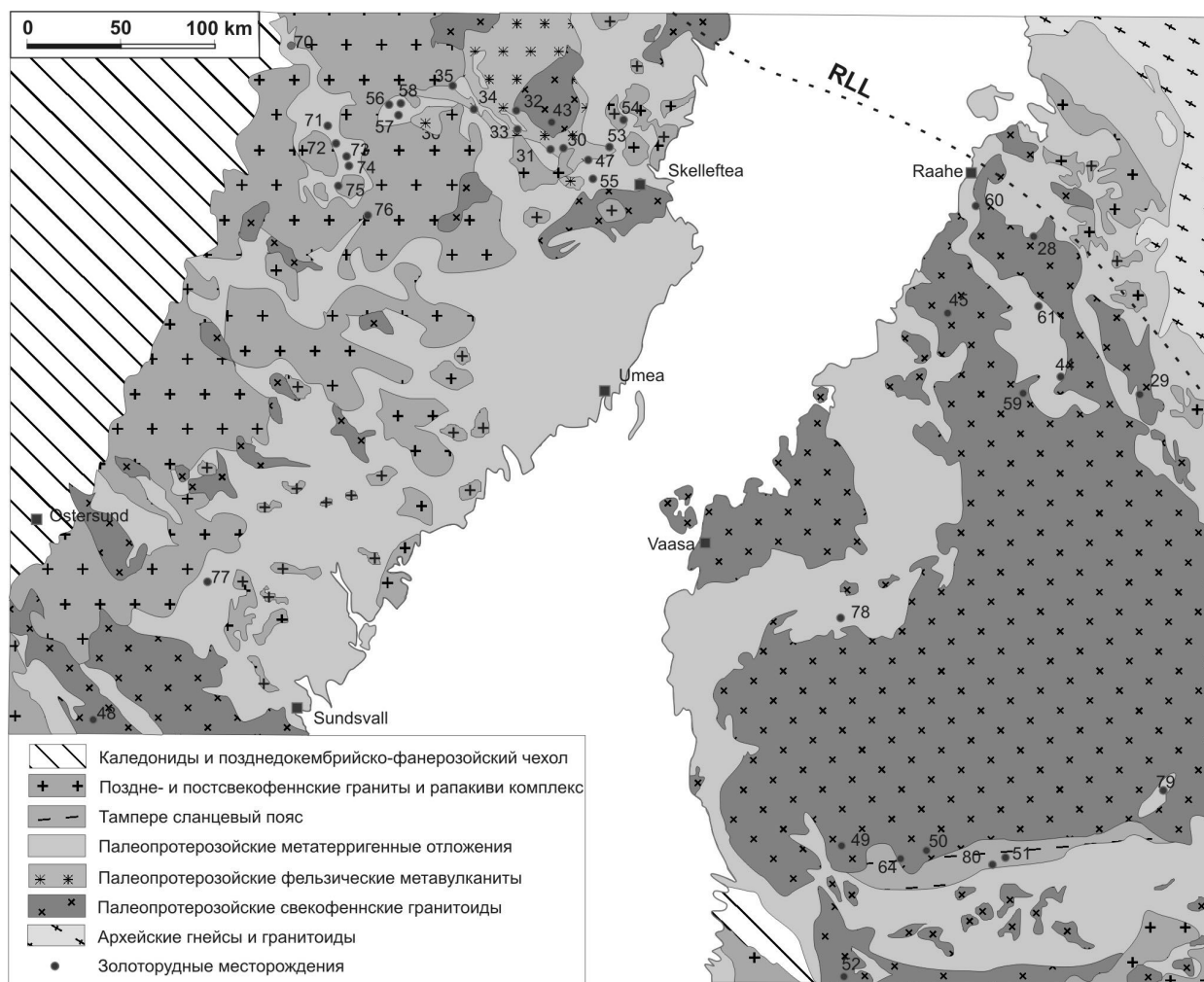


Рис. 8. Схема размещения золоторудных месторождений в центральной части Фенноскандинавского щита (Ботнический седиментационный бассейн) (по: Eilu, 1999; Sundblad, 2003)

Цифрами обозначены золоторудные месторождения: (Финляндия) 28 – Виханти, 29 – Пюхясалми; 44 – Копса; 45 – Юоухинева; 59 – Кангаскюля; 60 – Лайвакангас; 61 – Похлола; 78 – Тервасмяки; 49 – Исovesи; 50 – Илеярви; 51 – Кутемаярви; 52 – Йокисиву; 64 – Хавери; 79 – Таммиярви; 80 – Ахвенлампи; (Швеция) 48 – Энасен; 77 – Нинашергет; 30 – Кунстром; 31 – Удден; 32 – Холмтъярн; 33 – Маурлиден; 34 – Наслиден; 35 – Сторлиден; 36 – Кристинеберг; 43 – Таллберг; 47 – Болиден; 53 – Бьеркдал; 54 – Акерберг; 55 – Грундфорс; 56 – Фабодлиден; 57 – Миддагсбергет; 58 – Варгбаскен; 70 – Эрсмарксбергет; 71 – Барселе; 72 – Стортъярнхоббен; 73 – Съелиден; 74 – Мейванкилен; 75 – Сартлиден; 76 – Фабодлиден. RLL – Раахе-Ладога линия

них по продолжительности активной добычи медной руды является месторождение *Фалун* – разработка велась с 800 г. до 1992 г. Все еще производится добыча руды на месторождении Гарпенберг, хотя начата она еще в XIV в. Золото в промышленно значимых количествах известно также в массивных сульфидных рудах месторождений Саксбергет, Остра Силвберг, Остра Хардмальмерна и др. (Sundblad, 2003). Долгое время о наличии золота в медных рудах ничего не было известно, но и после установления его присутствия в рудах оно не извлекалось ввиду нерентабельности. После 1790 г. золото стало добываться на месторождении Фалун как побочный продукт при производстве меди, и к 1920 г. его ежегодная добыча составляла 107 кг (Sundblad, 2003).

В районе **Фродерид** известно несколько непромышленных месторождений VMS-типа с

содержаниями золота <0,2 г/т (Sundblad et al., 1997).

Метаморфизованные эпитермальные месторождения золота

Эпитермальная золоторудная минерализация связана с кислотнo-сульфаторной гидротермально-метасоматической проработкой свекофенских вулканогенно-осадочных комплексов. К наиболее крупным золоторудным объектам этого типа относятся Болиден (Bergman et al., 1996) в провинции Шеллефте (рис. 8) и Энасен в Центральной Швеции (Hallberg, Fallick, 1994). Кроме того, известно несколько мелких золотонесущих (Cu-As-Sb) месторождений в сланцевом поясе Тампере в Ю. Финляндии – Кутемаярви, Исovesи, Йокисиву, Йярвенпаа (Eilu et al., 2003).

Месторождение *Болиден* – один из наиболее крупных и известных из всех золотых рудников Фенноскандии, открыто в 1924 г. В период его разработки (1925–1967 гг.) произведено более 125 т золота и большое количество As, Cu, Ag, Zn, Pb. Массивное и штокерковое оруденение, предствленное пиритовым, арсенопиритовым и пирротиновым типами, приурочено к крутопадающей зоне кварц-серицитовых изменений в андезитах, дацитах и кварцевых порфирах (рис. 9) (Bergman et al., 1996), прослеживающейся на глубину более 500 м при мощности до 100 м. В кварц-серицитовых метасоматитах отмечаются турмалиновые жилы и прожилки, а также андалузитовая и корундовая минерализация. Возраст оруденения – 1,88–1,85 млрд лет (U-Pb). Главные золотосодержащие фазы – электрум и халькопирит. Месторождение комплексное, и помимо золота из него добывались As (ср. сод. 6,83%), Ag (50 г/т), Cu (1,43%), Zn (0,92%), Pb (0,27%).

Медно-золоторудное месторождение *Энасен* открыто в 1984 г. Оруденение локализовано в топазсодержащем кварц-силлиманитовом

гнейсе, окруженном биотитовыми гнейсами и амфиболитами, и интерпретировалось как аналог эпитермальных месторождений золота, связанных с кислотно-сульфатарным типом изменений фельзических вулканитов (Hallberg, Fallick, 1994). Подобные же особенности характерны для единственного разрабатываемого (добыто ~20 т Au) в настоящее время на территории Финляндии золоторудного месторождения *Кутемаярви*, отличающегося более низкотемпературными условиями метаморфизма (Poutiainen, Gronholm, 1996).

Орогенические мезозональные золоторудные месторождения

Аккрецированные к лопийскому кратону свекофенские террейны в коллизионную стадию (свекокарельский орогенез) подверглись деформациям и метаморфизму, что при наличии в их составе породных комплексов, отвечающих понятию базовой золотоносной формации (Сидоров, Волков, 2001), и наложенных на них зон сдвиговых дислокаций приводило к формированию орогенических мезозональных

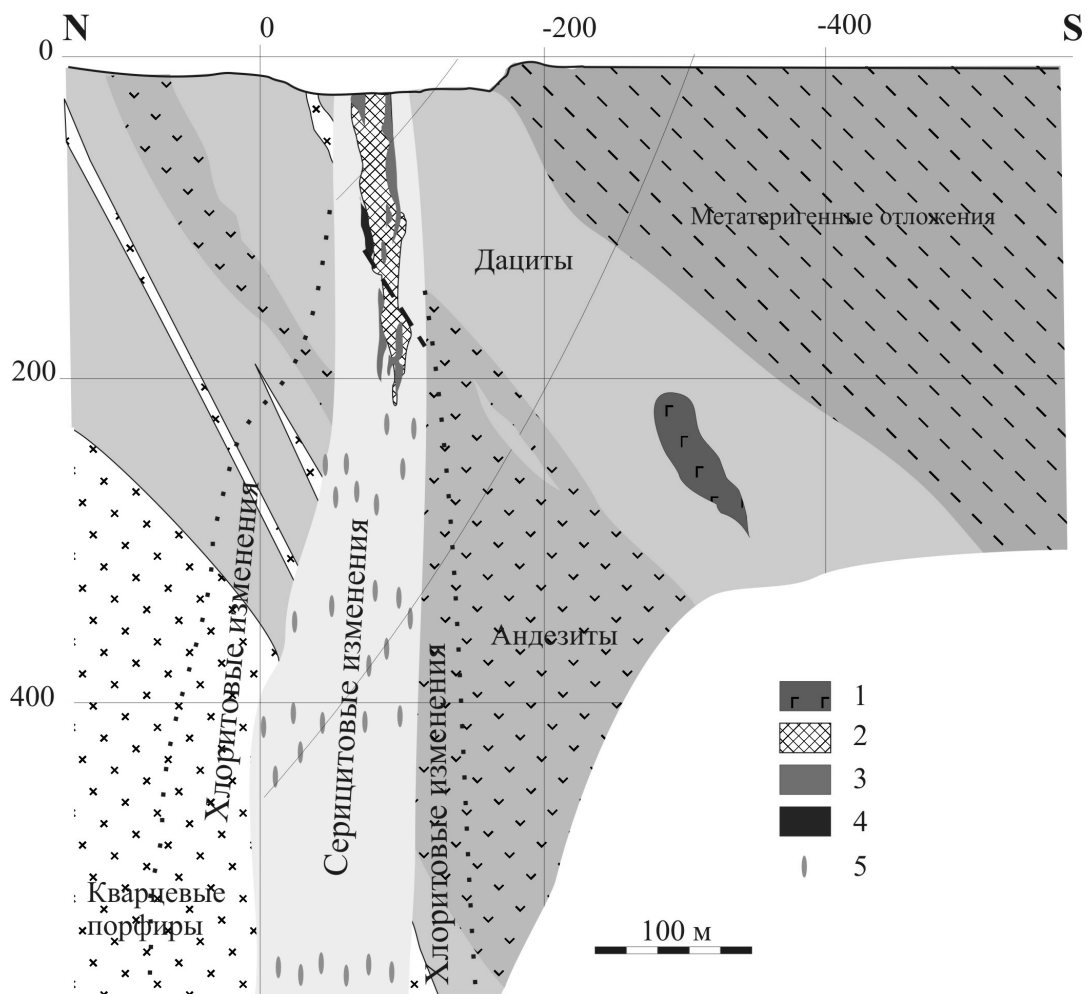


Рис. 9. Геологический разрез комплексного золоторудного месторождения Болиден, Швеция (по: Bergman et al., 1996):

1 – мафические дайки; 2–4 – руды: 2 – пиритовые, 3 – арсенопиритовые, 4 – пирротиновые; 5 – андалузит

золоторудных месторождений. Большинство рудоконтролирующих сдвиговых структур зафиксировано в районе Шеллефте на удалении 50–200 км к юго-западу от Раахе-Ладожской линии, а также в Раахе-Хаапаярви и Саво областях. Аналогичные структуры в последние годы установлены в сланцевом поясе Тампере, провинции Бергслеген, ЮЗ Финляндии и Северном Приладожье (Иващенко и др., 2000, 2005а; Kontoniemi, 1998 и др.).

В провинции **Шеллефте** известно несколько мелких месторождений (Фабодлиден, Миддагсбергет, Варгбаскен, Грундфорс, Бьеркдал, Акерберг и др.), происхождение которых дискуссионно (Bergman, 1992; Sundblad et al., 1993; Broman et al., 1994; Ohlander, Markkula, 1994; Billstrom, Weihed, 1996; Blomqvist, Leijd, 1999; Weihed et al., 2003). Главная роль в их формировании отводится или свекофеннскому гранитоидному магматизму, или метаморфотметасоматическим процессам в шир-зонах, или их последовательному совокупному воздействию. Золотоносные кварцевые жилы с признаками проявленных сдвиговых деформаций и сульфидной минерализацией (пирит, арсенопирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит) отмечаются как в метаосадочных комплексах, так и в интрузивных – диорит-тоналитовых. Одно из этих месторождений – **Акерберг** – с 1989 по 2001 г. разрабатывалось. Добыто 600 кг золота; запасы составляют 3 т. Оруденение относится к золото-кварцевому типу с очень малым количеством сульфидов и средним содержанием золота ~3,0 г/т (Sundblad, 2003). Кварцевые жилы развиты в сдвиговой зоне северо-восточного простирания мощностью 10–30 м и протяженностью 350 м, приуроченной к краевой части габброидной интрузии. Минимальный возраст золоторудной минерализации оценивается в 1,8 млрд лет по времени формирования пегматитов, секущих кварцевые жилы.

В районах **Раахе-Хаапаярви**, **Саво**, **Северное Приладожье** орогенические золоторудные месторождения (Иващенко и др., 2000, 2005б; Geological setting., 1998; Kontoniemi, 1998) сходны с таковыми в провинции Шеллефте. Рудовмещающими комплексами в большинстве своем являются синорогенные тоналитовые интрузии (~1,9 млрд лет) и туфогенно-осадочные образования в их экзоконтактах (Осиконмяки, Лайвакангас, Кангаскюля, Пякюля, Янис и др.). Развитие золоторудной минерализации контролируется сдвиговыми дислокациями второго и третьего порядков, приуроченными к перекрытой свекофеннскими отложениями юго-западной краевой ослабленной зоне архейского Карельского кратона (Раахе-Ладожская зона). По минеральному составу оруденение относится к золото-арсенидному типу. Главные рудные минералы – арсенопирит, пирит, пирротин; второстепенные – сфалерит, халькопирит, галенит. Наиболее изучен-

ным и подготовленным к разработке является месторождение Осиконмяки в Финляндии (Kontoniemi, 1998).

Месторождение **Осиконмяки** расположено в юго-восточной Финляндии в пределах Ладожско-Ботнической зоны (рис. 1), интерпретируемой как коллизионный шов, выраженный протяженными разломами и региональными сдвиговыми дислокациями преимущественно северо-западного простирания и локальными шир-зонами других направлений. Район месторождения сложен калевийскими метатурбидитами с подчиненным развитием фельзических метавулканитов, прорываемых разнообразными гранитоидами (рис. 10), среди которых наиболее важное металлогеническое значение имеет синкинематический (1887 ± 5 млн лет) тоналитовый плутон Осиконмяки, вмещающий золоторудное месторождение (Kontoniemi, 1998). Месторождение приурочено к локальной (протяженность ~3 км, ширина ~2–20 м) субширотной сдвиговой зоне в тоналитах, преобразующихся в ее контурах в березитоподобные метасоматиты с золотонесущей сульфидной минерализацией. Сдвиговая зона Осиконмяки расположена между двумя сдвиговыми дислокациями более высокого порядка – Хаукивеси и Колконъярви (Geological setting., 1998). Интенсивные деформации, метасоматические изменения и оруденение в ее пределах происходили в интервале времени <1887 – >1800 млн лет, но все же, вероятно, до кульминации регионального метаморфизма. Процесс гидротермально-метасоматического преобразования тоналитов сопровождался существенным притоком As, Bi, Te и Se и умеренным – Ag, Sb и Cu. Для содержания золота отмечается положительная корреляция с Ag, As, Se, Bi, Cu. Главные рудные минералы в рудах – пирротин, арсенопирит, леллингит, пирит, халькопирит; второстепенные – марказит, сфалерит, галенит, кубанит, молибденит, антимонит, мальдонит, висмут, шеелит и др. Самородное золото и электрум ассоциируются с Bi-Se-Te минералами, находящимися преимущественно в межзерновом пространстве арсенопиритовых агрегатов, а также в самом арсенопирите и леллингите. Рудные тела в соответствии с залеганием сдвиговой зоны падают на юг под L40–50° и имеют по результатам опробования сложную морфологию. Лучшие рудные пересечения – 9,5 г/т на 25 м и 68,8 г/т на 1,0 м. Запасы золота составляют 7,22 т, среднее содержание – 3,1 г/т (Kontoniemi, 1998).

В пределах российской части Раахе-Ладожской зоны в **Северном Приладожье** выявлено несколько золоторудных проявлений орогенического типа – Алатту, Пякюля, Янис (Артамонова, Духовский, 1989; Иващенко и др., 2000, 2002б; Степанов и др., 2004), объединяющихся в одно рудное поле. Эталонным и наиболее перспективным среди них является рудопроявление Пякюля (Иващенко и др., 2004б и др.).

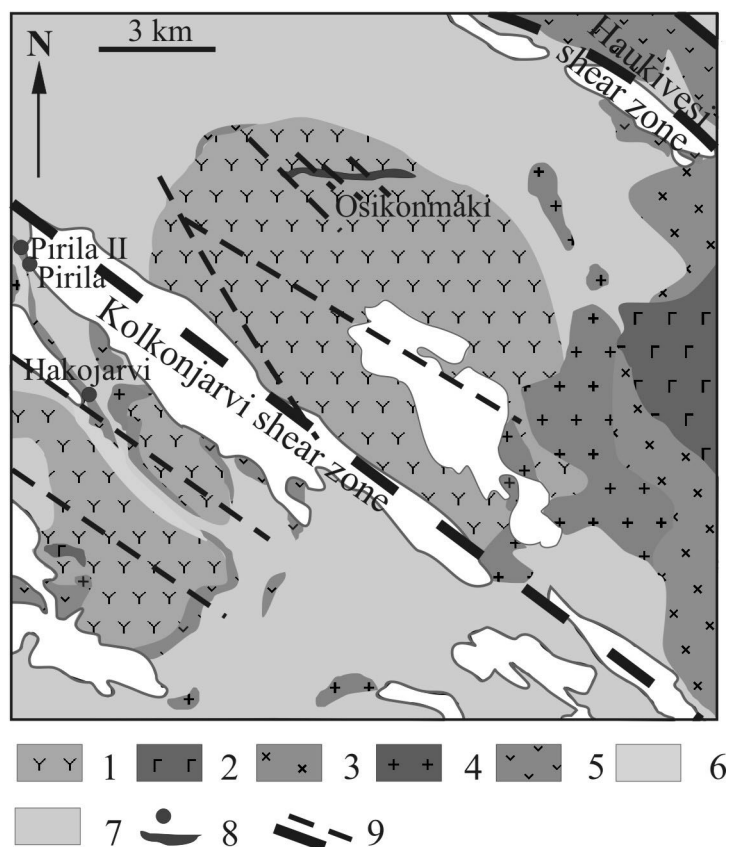


Рис. 10. Схема геологического строения района золоторудных месторождений Осиконмяки – Пириля, Финляндия (по: Kontoniemi, 1998):

1 – тоналиты, гранодиориты; 2 – габбро, диориты; 3 – кварцевые диориты, гранодиориты; 4 – граниты; 5 – основные и средние метавулканы; 6 – фельзитические метавулканы; 7 – слюдяные сланцы и гнейсы; 8 – золоторудные месторождения и проявления; 9 – сдвиговые зоны и разломы

Комплексное благороднометалльное проявление *Пякюля* расположено в Северном Приладожье на площади развития слабо метаморфизованных метатурбидитов ладожской серии (рис. 11) в пределах Раахе-Ладожской зоны сочленения Карельского кратона – AR₂ и Свеконенского складчатого пояса – PR₁ (Иващенко и др., 2000, 2002б). Особенности геологии рудопроявления определяются наличием габброидного штока (диаметр 0,5–0,6 км) с возрастом $1884,8 \pm 5,2$ млн лет (Богачев и др., 1999) и более поздних, судя по геологическим соотношениям, малоразмерных (0,3–200 × 10–1000 м) тел гранитоидов. Наиболее интенсивно рудогенез проявлен в пределах небольшой (прослеженная протяженность ~1 км, мощность ~200 м, S ~ 0,15 км²) северо-восточного простирания (20–40°, ∠ пад. 70–80° СЗ) морфологически сложной штоковой интрузии порфировых диорит-тоналит-гранодиорит-плагиогранитов (с доминированием тоналитов). Повсеместно породы этой интрузии подверглись кварц-серицитовому метасоматозу и окварцеванию с образованием бедно минерализованного (молибденит, халькопирит, пирит,

арсенопирит и др.) штокверка, на который накладываются зоны сдвиговых дислокаций северо-восточного простирания с метасоматитами березитового ряда и золото-мышьяковистым оруденением. Мощность рудоносных метасоматитов в сдвиговых дислокациях достигает 12 м, прослеженная протяженность – более 500 м. Рудная минерализация в них представлена перекристаллизованными минеральными ассоциациями более раннего штокверкового оруденения и новообразованными полигенерационными – с игольчатым арсенопиритом, халькопиритом, пиритом, пирротином, марказитом, мельниковитом, сфалеритом, галенитом, блеклой рудой, гудмундитом, самородной сурьмой, ульманнитом, сурьмяными сульфосолями свинца (буланжеритом, джемсонитом, менегинитом, шульцитом, фалькманитом), электрумом и самородным высокопробным (940–980) золотом. Содержание и состав золота в метасоматитах сильно варьируют – соответственно, от высокопробного до электрума и от 0,05 г/т до 33 г/т. Максимальные его концентрации приурочены к местам максимального проявления дислокационных дефектов в

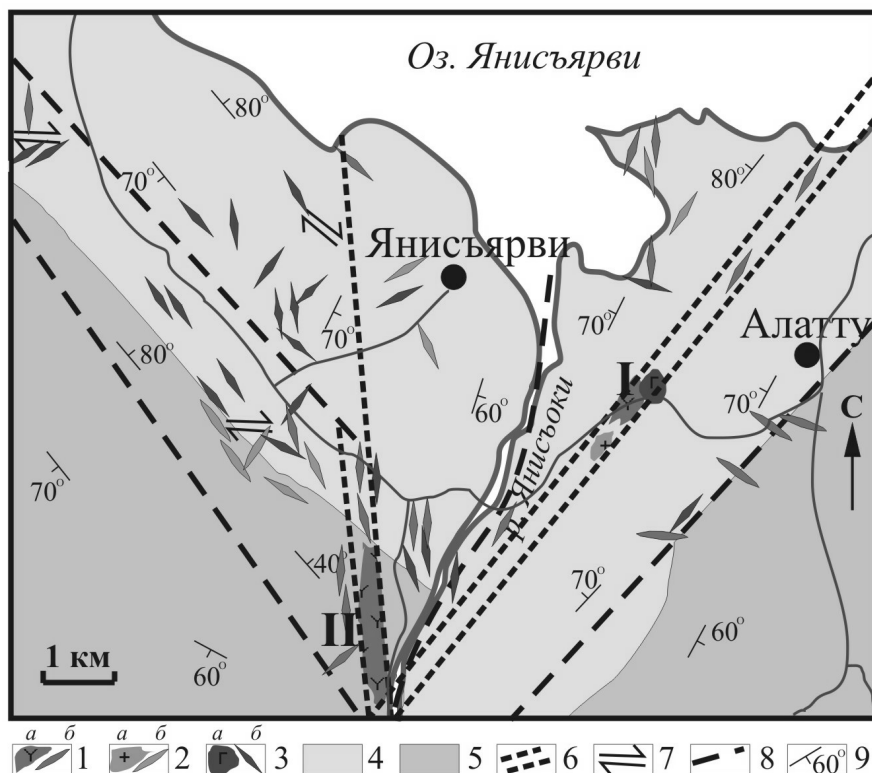


Рис. 11. Геологическая схема золоторудного поля Алатту – Пякюля – Янис:

1–3 – Суйстамский магматический комплекс: 1 – кварцевые диориты, тоналиты, плагиограниты, риодациты и др. (а – штоковидные тела, б – дайки); 2 – кварцевые порфиры, гранитпорфиры (а – штоковидные тела, б – дайки); 3 – диориты, габбродиориты, габбро (а – штоковидные тела, б – дайки); 4, 5 – метатурбидиты ладожской серии: 4 – грубое и ритмичное переслаивание метаалевролитов (биотитовых сланцев), песчаников и кварцитов (свита наатселька), 5 – грубое переслаивание метаалевролитов (андалузитовых, кордиерит-андалузитовых и кварц-плагиоклаз-биотитовых сланцев) и песчаников (свита пякярви); 6 – золоторудоконтролирующие сдвиговые зоны с благороднотемальными проявлениями (I – Пякюля, II – Янис); 7 – элементарные сдвиговые структуры с пунктами золоторудной минерализации; 8 – тектонические нарушения; 9 – элементы залегания слоистости пород

породах и минералах, на участках многократной переработки пород, где они подверглись сначала интенсивному брекчированию, а затем наложенным сдвиговым деформациям и метасоматозу. Кроме самородного золота главными золотосодержащими минеральными фазами являются арсенопирит (Au до 250 г/т), электрум, гудмундит (Au – 0,01%), самородная сурьма (Au – 0,25%). Размерность выделений золота изменяется от <1 мкм до 0,2 мм (рис. 12). В рудах также содержатся: Ag – до 0,22% (0,12% – среднее по 6 анализам); As – 0,11–>1%; Sb – до >1%; Bi – до 0,3%; Pb – 0,001–>1%; Zn – до >1%; Mo – до 0,3%; Cu – 0,003–>1%; Cd – до 0,02%; В – до 0,1%; Sn – до 0,0015%. Сдвиговые дислокации с золотонесущими метасоматитами развиваются также в габброидном штоке (руд. Алатту) и метатурбидитах ладожской серии за контурами тоналитовой интрузии. Прогнозные ресурсы золота на рудопроявлении Пякюля по категории P₂ составляют 20 т (Иващенко и др., 2002а), а в целом по золоторудному полю Алатту – Пякюля – Янис – 30,24 т (Степанов и др., 2004).

В сланцевом поясе **Тампере** (аналог Шеллефте?), окаймляющем с юга Центрально-Финляндский гранитоидный батолит, известно несколько золоторудных месторождений разных генетических типов (рис. 8). Одно из них – Хавери, эксплуатировавшееся в течение 1940–1950 гг., вероятно, является полигенным. Медно-полиметаллическое оруденение интерпретируется как вулканогенное Кипрского типа (Makela, 1980), а золоторудное – как наложенное на него (overprinted) орогеническое (Eilu et al., 2003).

Провинции **Бергслеген** (Ц. Швеция) (рис. 13) и **Остра Хардмалмерна** (ЮЗ Финляндия). На месторождении VMS-типа Фалун в Бергслегене выявлены зоны наложенной кварц-сульфидной минерализации с самородным золотом, селенидами и бисмутином (Kagur-Moller, 1970). Данные по изотопии рудного свинца (Sundblad, 2003) и газовой-жидким включениям (Aberg, Fallick, 1993) свидетельствуют об образовании этой минеральной ассоциации после формирования массивных сульфидных руд и последующей их деформации. На

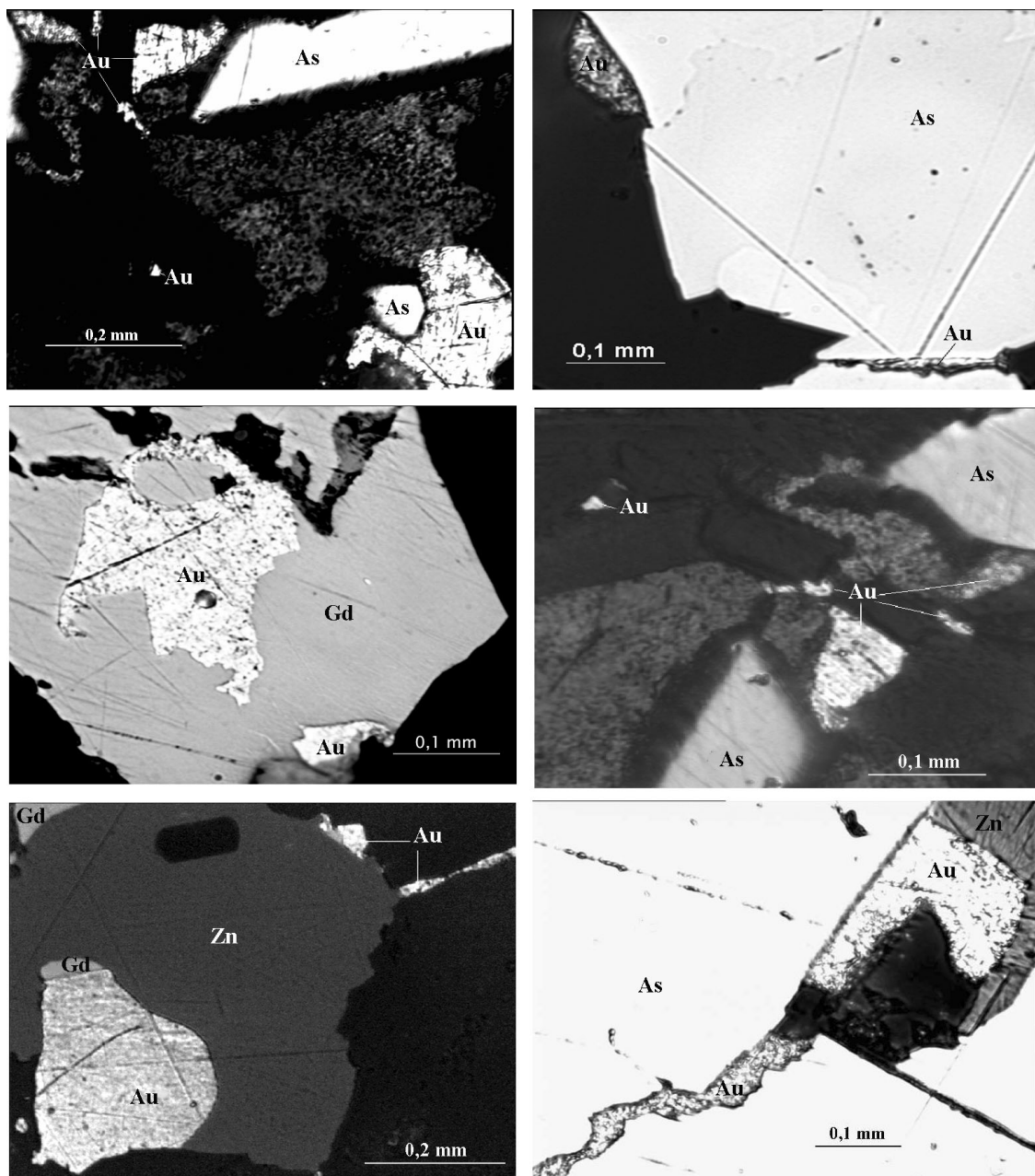


Рис. 12. Характерные морфотипы самородного золота в метасоматитах рудопроявления Пякюля: As – арсеницит, Au – золото самородное, Gd – гудмундит, Zn – сфалерит. Отраженный свет

других рудниках Бергслагена (Бовиксграван, Каллфаллет, Малсйюберг) также установлено развитие поздней наложенной (overprints) золотонесущей минеральной ассоциации (Bergman, Sundblad, 1991). Аналогичная ситуация отмечается и на месторождениях Ориярви и Пюхясалми в ЮЗ Финляндии (Vorma, 1960; Ciobanu et al., 2002), где установлены повышенные содержания золота (до 7 г/т) и Bi-Se минерализация, развивающаяся в зонах сдвиговых дислокаций, накладывающихся на ранее сформированные руды. Все это, вероятно, указывает на принадлежность золото-селенидной минерализации на этих месторождениях к орогеническому мезозональному типу.

В Ботническом палеоседиментационном бассейне, включающем обширную область к югу от Шеллефте, простирающуюся в Финляндию южнее сланцевого пояса Тампере (рис. 8), в последние годы открыто большое число мелких месторождений и проявлений золота, имеющих полигенную природу. Среди осадочных отложений здесь доминируют турбидиты, метаграфвакки с прослоями железистых кварцитов и графитистых сланцев и подчиненным развитием магнезиальных metabазальтов (Lundqvist, 1987), имеющих примитивные геохимические и изотопные характеристики (Sundblad, 2003). Осадочные толщи до их метаморфизма прорываются четырьмя поколениями известково-

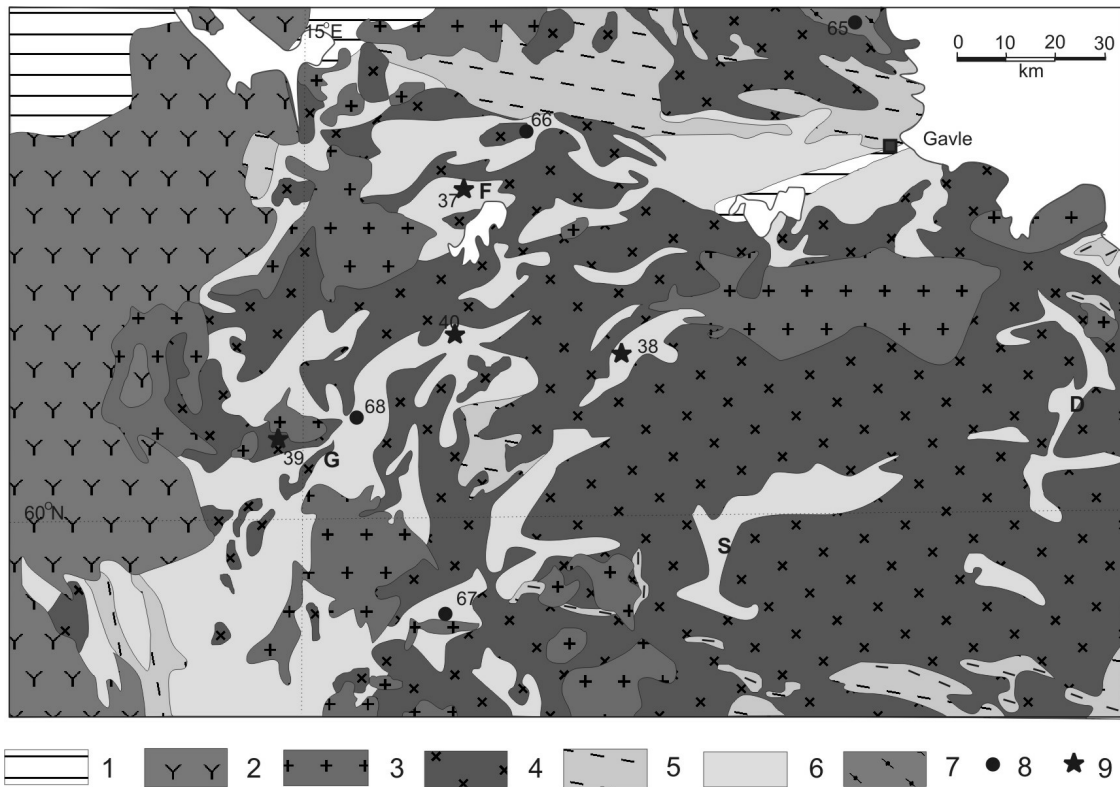


Рис. 13. Схема размещения золоторудных месторождений в провинции Бергслаген (Швеция) (по: Ripa, 2001; Sundblad, 2003):

1 – мезопротерозойский и палеозойский осадочный чехол; 2 – Трансскандинавский магматический пояс; 3 – поздне Svecofенские гранитоиды; 4 – ранне Svecofенские гранитоиды; 5 – ранне Svecofенские метатерригенные отложения; 6 – ранне Svecofенские фельзитические метавулканы; 7 – ранне Svecofенские мафические метавулканы; 8, 9 – золоторудные месторождения: 8 – орогенические мезозональные, 9 – VMS тип.

Цифрами обозначены золоторудные месторождения: 37 – Фалун; 38 – Гарпенберг; 39 – Саксбергет; 40 – О. Силверберг; 65 – Хамранге; 66 – Бовиксгруван; 67 – Каллфаллет; 68 – Малсйоберг; буквами обозначены главные рудники, прекратившие свою деятельность: D – Даннемора (Fe); F – Фалун (Cu, Zn, Pb, Ag, Au); G – Грангесберг (Fe); S – Сала (Ag)

щелочных гранитов с возрастом 2030–1870 млн лет (Lundqvist et al., 1998; Claesson, Lundqvist, 1995). В процессе метаморфизма они были преобразованы в мигматиты и двуслюдяные анатектические граниты, что делало эту область крайне непривлекательной для поисков месторождений золота. Однако ситуация в этом аспекте меняется в связи с выявлением таких месторождений, как Эрсмарксбергет в Швеции (запасы Au – 3,3 т, содержание – 3,7 г/т). Оруденение приурочено к эндо-экзоконтактной зоне тоналитового интрузива Юктан и представлено брекчиевидной Zn-Pb-Ag минерализацией и более поздней золоторудной – кварцево-жильной в сдвиговых зонах (Sundblad, 2003). Кроме золота, на этом месторождении в промышленно значимых количествах содержится также Ag (63 т), Zn (120 тыс. т), Pb (55 тыс. т). К такому же экономическому классу относятся и другие золотонесущие месторождения в этом регионе – Барселе, Свартлиден, Фабодлиден, Стортйярнхоббен и др. На многих из них золото совместно с пиритом, арсенопиритом и халькопиритом сосредоточено в

кварц-серицитовых метасоматитах по графит-содержащим метаосадкам (Hart et al., 1999).

Часть золотонесущих месторождений Ботнического палеобассейна (Sb-Au-As Тервасмяки, Таммиярви, Au-W Ахвенлампи и др.), вероятно, не могут интерпретироваться как орогенические в сдвиговых дислокациях (Luukonen, 1994).

В пределах **Трансскандинавского магматического пояса** (рис. 14) известно несколько золоторудных (Cu-Au±Co) проявлений орогенического типа, связанных с шир-зонами краевых частей главного гранитоидного батолита (Sundblad, 2003). Наиболее значительное из них – месторождение Адельфорс (первый золотой рудник в истории Швеции). Оруденение представлено кварцево-жильной Au-Cu-Zn минерализацией с кобальтоносным пиритом в основных метавулканитах вблизи контактовой сдвиговой зоны (~1,8 млрд лет) с гранитоидами. По изотопным данным источником золота для месторождения Адельфорс служили толеитовые вулканы после внедрения Смоланд гранитов (Sundblad et al., 1999). Во многом

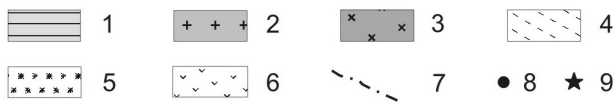
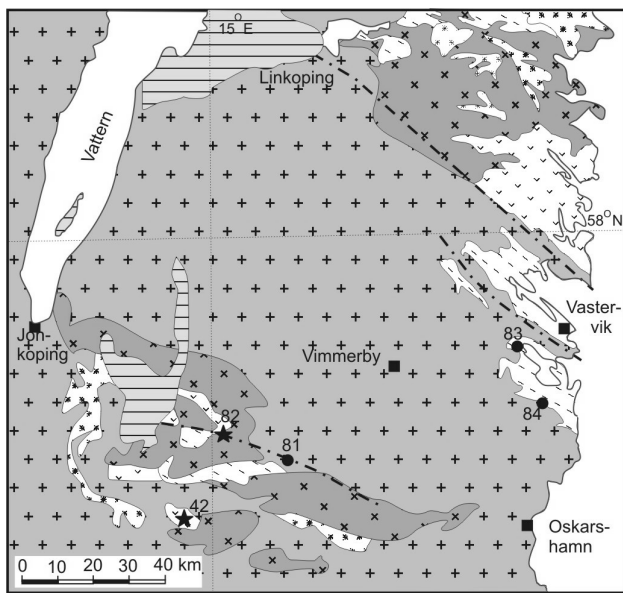


Рис. 14. Схема размещения золоторудных месторождений в Трансскандинавском магматическом поясе (по: Sundblad, 2003):

1 – мезопротерозойский и раннепалеозойский осадочный чехол; 2 – Трансскандинавский магматический пояс; 3 – свекофенские гранитоиды; 4 – свекофенские метатерригенные отложения; 5 – свекофенские фельзитические метавулканы; 6 – свекофенские мафические метавулканы; 7 – сдвиговые зоны; 8, 9 – золоторудные месторождения: 8 – орогенические мезозональные, 9 – VMS тип. Цифрами обозначены золоторудные месторождения: 42 – Фродерид; 81 – Адельфорс; 82 – Фиффлекулл; 83 – Гладхаммар; 84 – Солстад

аналогичными Адельфорсу являются месторождения Гладхаммар и Солстад, которые также эксплуатировались несколько сот лет назад на Fe, Cu, Co, а золото в них было обнаружено только в последние годы (Soderhielm, Sundblad, 1996). Золоторудная минерализация во всех этих месторождениях связана с гидротермально-метасоматическими процессами в зонах сдвиговых дислокаций, имеющих возраст моложе времени формирования Трансскандинавского магматического пояса.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ГОТСКОМ ДОМЕНЕ (ОБЛАСТЬ СВЕКОНОРВЕЖСКОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ)

Нижний временной интервал формирования коры в юго-западной Скандинавии равен 1,65 млрд лет, времени становления Готских гранитоидных и вулканических комплексов. Пространственные соотношения между лопийско-свекокарельским континентом и корой Готского домена свидетельствуют о возможном расположении их в свекононорвежское время на значительном удалении друг от друга (Sundblad, 2003). Соединение готид с этим кон-

тинентом произошло около 1,0 млрд лет назад и сопровождалось проявлением в локальном масштабе гранулитового метаморфизма. До этого готская кора была интродуцирована гранитоидами. Золоторудные проявления в готидах относятся к двум типам: стратиформному в сульфидных рудах и орогеническому в свекононорвежских зонах сдвиговых дислокаций в пределах (и по восточному краю) Готского домена (рис. 15).

Стратиформные проявления золота выявлены к западу от пермского палеорифта Осло в супракустальных комплексах Бамбле и Конгсберг, прорываемых габбро и гранитоидами (Sundblad, 2003). Промышленные содержания золота отмечаются в стратиформных Cu-Zn сульфидных месторождениях Рорхолт, Хаугсет и совместно с Co, Cu, As в железорудных.

Золоторудные месторождения орогенического типа в Готском домене контролируются в региональном масштабе тектонической границей

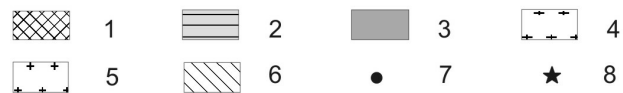
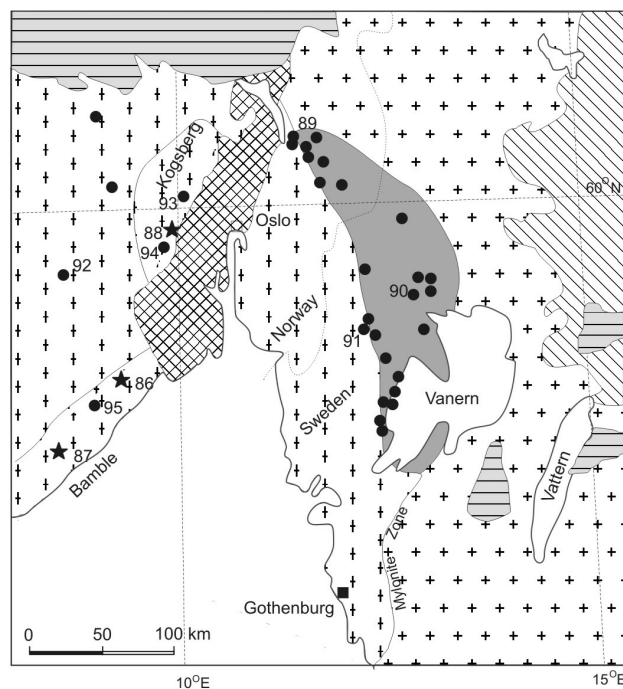


Рис. 15. Схема размещения золоторудных месторождений в Готском домене Феноскандинавского щита (по: Ihlen, 1995; Sundblad, 2003):

1 – Осло палеорифт; 2 – раннепалеозойский платформенный чехол и каледониды; 3 – Мьйоса-Ванерн рудный район; 4 – готские ортогнейсы; 5 – Трансскандинавский магматический пояс; 6 – свекофенская кора; 7, 8 – месторождения и проявления: 7 – свекононорвежские полиметаллические кварцевые жилы, 8 – стратифицированные золоторудные. Цифрами обозначены золоторудные месторождения: 86 – Рорхолт; 87 – Скайтемур; 88 – Хаугсет; 89 – Эйдсволл; 90 – Глава; 91 – Харнас; 92 – Блэка; 93 – Скутеруд; 94 – Ливеруд; 95 – Вексельмур

(Милонитовой зоной) между ним и Трансскандинавским магматическим поясом. Милонитовая зона – главная свеконорвежская сдвиговая зона, протягивающаяся от ЮВ Норвегии до ЮЗ Швеции. Большое число жильных полиметаллических месторождений приурочено к ней, а наиболее значительные из них Эйдсволл, Глава, Харнас, Блэка размещаются в рудном районе Мьйоса-Ванерн (Ihlen, 1986; Alm, Sundblad, 1994; Sundblad et al., 1996; Alm et al., 2003).

На месторождении *Харнас* проводилась добыча золота (добыто 120 кг; ср. сод. 2 г/т). Оруденение здесь приурочено к локальной сдвиговой зоне в метаморфизованных известково-щелочных ортогнейсах возраста 1,6 млрд лет. Рудная минерализация представлена преимущественно пиритом, в незначительной степени галенитом, халькопиритом и редкими теллуридами и висмутовыми минералами. Ее возраст оценивается в 973 ± 34 млн лет – Re-Os метод (Stein et al., 1999). Рудоносные растворы имели метаморфическое происхождение (Alm et al., 2003). Такой же генезис предполагается (Ihlen, 1995; Alm et al., 2003) и для золоторудной минерализации горнодобывающего района Эйдсволл в Норвегии, где были первые в истории этой страны золотые рудники, активно действовавшие с 1757 по 1907 г.

Cu-Au-Ag месторождение *Глава* разрабатывалось (1916–1918 гг.) на медь, и только в 1941 г. в его рудах было обнаружено самородное золото (Sundblad, 2003). Рудовмещающей породой является тонкорассланцованный кварцевый диорит в толще свеконорвежских метаосадков. Рудная минерализация (борнит, пирит, халькопирит, электрум, селениды и теллуриды) совместно с хлоритом и кварцем выполняет густую сеть микротрещинок (мощность до 1 см) в диоритах (Oen, Kieft, 1984).

К западу от палеорифта Осло в области Конгсберг-Бамбле, рассекаемой сетью круто- и пологопадающих сдвиговых зон, известны эпигенетические кварцево-жильные месторождения Вексельмур (Au-As-Cu) и Скуттеруд (Cu-Co-As-Au), а также Блэка в анкерит-кварцевых жилах (Petersen, Jensen, 1995). Последнее месторождение в XIX в. разрабатывалось.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ДОКЕМБРИИ ЗАПАДНОЙ НОРВЕГИИ И ДОКЕМБРИЙСКИХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ «ОКНАХ» В КАЛЕДОНИДАХ

Золотонесущие месторождения в докембрии Норвегии известны на нескольких участках ее территории (рис. 1). Они представлены преимущественно орогеническим типом, относящимся по возрасту, вероятно, и к докембрию, и к каледонской эпохе (Sundblad, 2003). Соответственно рудовмещающими на месторождениях являются докембрийские структурно-формационные комплексы, как бывшие до каледонской орогении частями Фенноскандинавского щита, так и аккретированные к нему позднее.

Золоторудная минерализация в *реювенированной Фенноскандинавской докембрийской коре* представлена двумя типами.

1. Золото, ассоциирующееся с пиритом, халькопиритом и борнитом, в измененных докембрийских гранитоидах вблизи надвигового контакта каледонид. Рудная минерализация локализована в кварцевых жилах, рассекающих также и каледонские ортогнейсы. Этот тип минерализации характерен для районов Довре, Оппдал, Грарудфьеллет и Гронг (Sundblad, 2003).

2. Золото, связанное с As, Cu (и Te, Bi, Mo, Ag) и приуроченное к свекофеннским метатерригенным комплексам районов Гаутелисфьелл и Ромбак (Skyseth, Reitan, 1995), датируется как образованное в посткульминационную стадию каледонского метаморфизма.

Золоторудные проявления в *предполагаемых докембрийских террейнах* Фенноскандинавского щита известны в районе Рингвассова – месторождение Сордалшогда (Cu, As, Sb). В этом районе на севере Норвегии (рис. 1) развит толеит-коматиитовый комплекс пород, долгое время коррелировавшийся с палеопротерозойскими зеленокаменными поясами северной части Фенноскандии. Однако его изотопное датирование показало возраст в 2,84 млрд лет (Motuza et al., 2001), что ставит под сомнение эти корреляции, так же как и принадлежность данной зеленокаменной структуры к Фенноскандинавскому щиту.

ПАЛЕОРОССЫПИ И СОВРЕМЕННЫЕ РОССЫПИ

Палеороссыпные месторождения и проявления золота на территории Фенноскандии известны начиная со времени формирования эндогенной золоторудной минерализации в палеопротерозойских зеленокаменных поясах – 1,9–1,8 млрд лет. Наиболее значительные золоторудные объекты этого типа в конгломератах открыты в Центральной Лапландии – Каарестунтури, Оутапяя (Eilu, 1999), но и они не достигают промышленных масштабов. В Карелии на продолжении лапландского зеленокаменного пояса установлены очень мелкомасштабные проявления золота в кварцевых и полимиктовых конгломератах основания разрезов тунгудской и ватулминской свит – Железные Ворота, Нигалма (Минерально-сырьевая база., 2005). Они характеризуются низкими и сильно варьирующими содержаниями золота, максимальные концентрации которого – до 3–6 г/т – отмечаются в зонах наложенных на них кварц-серицитовых изменений (Голубев, Кулешевич, 2001 и др.). Признаки незначительной золотоносности (до 0,2 г/т) присущи также сариолийским конгломератам Хатуноя в Ялонварской структуре (Иващенко, Лавров, 1994). Элементами-спутниками золота для его проявлений в конгломератах этого временного уровня являются U, Th, Zn, As, Bi.

Второй временной уровень формирования палеороссыпных проявлений золота в конгломератах относится к ятулию. Наиболее существенные золоторудные концентрации этого времени отмечаются в интракратонных структурах Центральной Карелии в районе Янгозера. Здесь известно два крупных рудопроявления – Маймъярви и Ятулий-1 золото-мартитового типа (Минерально-сырьевая база., 2005).

Золото на рудопроявлении *Маймъярви*, по данным А. Г. Леонтьева (Минерально-сырьевая база., 2005), связано с древней россыпью в пределах веерной палеodelьты шириной 1,5–6,0 км и протяженностью до 9 км. Конгломераты слагают невыдержанные горизонты мощностью 0,4–33,0 м, расчленяющиеся на отдельные потоки и струи мощностью до 1 м, шириной до 130 м и длиной до 1,5 км. Фоновая золотоносность конгломератов – 0,07–0,19 г/т при средневзвешенном содержании в пределах струй 1–6 г/т. Золото ассоциируется с гематитом и мартитом. В зонах наложенного северо-западного расщепления, сопровождающегося хлоритизацией, карбонатизацией и серицитизацией, золото ассоциируется с гематитом, мартитом, халькопиритом, галенином, молибденитом, сфалеритом, минералами урана и тория, а его содержание достигает 10 г/т.

Рудопроявление *Ятулий-1* приурочено к прибрежно-бассейновым фациям конгломератов. Наиболее высокие содержания золота (до 11,0–13,6 г/т) связаны с субмеридиональной зоной расщепления вдоль даек габбро-долеритов, сопровождающейся серицитизацией и хлоритизацией (Минерально-сырьевая база., 2005).

В западном обрамлении Онежской структуры известно несколько рудопроявлений кварцевых конгломератов с золото-урановой минерализацией (Черный Наволок, Пальеозеро-1, 2, Медвежье, Гирвас и др.), приуроченных к базальным горизонтам ятулия, подвергшимся интенсивным метасоматическим изменениям – альбитизации, березитизации, окварцеванию. Рудная минерализация представлена золотом, уранинитом, настураном, пиритом, пирротинном, халькопиритом, арсенопиритом, галенином, сфалеритом, молибденитом (Солдатенко и др., 1999). Содержание золота на месторождении Пальеозеро-1 достигает 4,6 г/т. Изотопный возраст оруденения составляет 1,93–1,73 млрд лет (Мельников и др., 1992; Леденева, Пакульнис, 1997).

Третий временной уровень формирования палеороссыпных проявлений золота относится к венду. Наиболее крупные и изученные благороднометалльные палеороссыпи этого времени выявлены на Нименьгской площади в Архангельской области.

На *Нименьгской площади* известно четыре проявления золота, связанных с формацией золотоносных конгломератов венда. Протя-

женность полосы их развития составляет 60 км при ширине от 0,5–1,0 до 4,0–5,0 км (в среднем 2 км). Мощность продуктивного пласта варьирует от 2,0 до 18,0 м. Прогнозные ресурсы золота до глубины 100 м оцениваются в 145 т при его среднем содержании 2–4 г/т (Медведев, 2000). Золото преимущественно крупное (имеются золотины весом до 40–91 мг), слабо окатанное, зерна объемные, таблитчатые, пластинки неправильной формы (рис. 16).

Золото отмечается также в аллювиальных четвертичных россыпях совместно с металлами платиновой группы (платиноиды – до 15–20% от общей массы металла в шлихе). Суммарное содержание золота и платиноидов по отдельным пробам достигает 0,5–1,0 г/м³. Пробность золота – 973–980. Состав платиноидов: 85,5% Pt; 2,7% Ir; 1,4% Os; 1,0% Rh; менее 1% – Pd, Ru.

Заключение

Приведенный обзор золоторудных месторождений и проявлений Фенноскандинавского щита показал, что они относятся к нескольким генетическим типам (табл.), ведущими среди которых являются орогенический мезозональный, порфиновый (Intrusion-related) и эпитептермальный. Главными металлогеническими эпохами золота на щите являлись неоархейская (2,8–2,7 млрд лет), проявившаяся в лопийских зеленокаменных поясах, и протерозойская (1,9–1,8 млрд лет) – в палеопротерозойских зеленокаменных поясах, свекофеннидах и Трансскандинавском магматическом поясе (ТІВ).

К настоящему времени из всего объема добытого на территории Фенноскандии золота (~500 т) на долю архейских месторождений приходится ~2 т (Пампало). Свекофеннские (PR) месторождения Болиден (добыто 128 т Au, 411 т Ag) и Айттик (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 том числе самое крупное – Суурикуосикко (>70 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 (Groves et al., 2003 и др.). Это металлогеническое своеобразие рассматриваемого щита большинство геологов считают кажущимся и обусловленным лишь его слабой изученностью, в особенности на территории России (Карелия, Кольский полуостров), включающей около 90% площади распространенных в его пределах архейских

комплексов (Проблемы..., 1997; Металлогения Карелии, 1999; Минерально-сырьевая база..., 2005; Geological development..., 1993; Sundblad, 2003 и др.). Существуют также и другие объяснения этому, основывающиеся на сравнительном анализе и выявлении отличий архейских зеленокаменных поясов Фенноскандии от аналогичных, но избылиующих крупными месторождениями золота образований других древних щитов (Кожевников, 2000; Сафонов и др., 2005).

Причина низкой промышленной золотоносности архейских гранит-зеленокаменных областей Фенноскандинавского щита, кратонизированных в конце лопия, заключается в следующем (Иващенко и др., 2005б).

Лопийский кратон после своего формирования испытывал преимущественно воздымание и подвергался существенной эрозии. Следовательно, широкое распространение в настоящее время в пределах архейских зеленокаменных поясов метасоматитов свекофеннского возраста с РТ параметрами, благоприятными для локализации золотого оруденения, свидетельствует о том, что изофациальные архейские метасоматиты в них полностью эродированы. При формировании свекофеннских метасоматитов по архейским породам (включая и метасоматически преобразованным) растворы проходили через толщи, из которых еще в архейское время были экстрагированы рудные элементы, в том числе и золото, и, следовательно, не обогащались им и соответственно в благоприятных физико-химических условиях не могли даже в теоретическом аспекте приводить к образованию его значительных концентраций. Более того, свекофеннские эндогенные процессы приводили, вероятно, в большинстве своем к «разубоживанию» ранее образованных архейских золоторудных концентраций. 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. Таким образом, все изложенное, а также результаты изотопного датирования метасоматитов архейских зеленокаменных поясов Карельской гранит-зеленокаменной области, в большинстве своем показывающие их свекофеннский возраст (Ларин, 1990; Металлогения Карелии, 1999; Голубев, Кулешевич, 2001; Кулешевич и др., 2004; Ларионова и др., 2005 и др.), свидетельствуют о том, что перспективы ее на золото невысоки. Потенциально золотоносными могут быть только архейские зеленокаменные структуры, не подвергшиеся существенной эрозии и свекофеннским метаморфо-метасоматическим преобразованиям.

По аналогии с Финляндией и Швецией, где преобладающая часть запасов золота сосредоточена в протерозойских структурах с извест-

ными крупными золоторудными месторождениями – Болиден, Айттик, Суурикуосикко, более благоприятными представляются и перспективы территории Карелии на промышленное золото протерозойского возраста, тем более что ряд установленных на зарубежной части щита протерозойских золоторудоконтролирующих структур (Раахе-Ладожская, Лапландский зеленокаменный пояс и др.) прослеживается на ее территории.

Литература

- Артамонова Н. А., Духовский А. А., 1989. Геологическое строение и полезные ископаемые Северо-Восточного Приладожья: Отчет // ТГФ Республики Карелия, Петрозаводск.
- Ахмедов А. М., Воинова О. А. Калабашкин С. Н. и др., 2001. Компьютерная карта золотоносности докембрия Карельского региона масштаб 1 : 1 000 000. Анализ перспектив // Региональная геология и металлогения. Вып. 13–14. СПб.: ВСЕГЕИ. С. 84–104.
- Безруков В. И., 1989. Отчет о результатах общих поисковых работ на золото в центральной и восточной частях Куоляярвинского синклиория в 1984–89 гг. // Фонды ЦКЭ.
- Беляцкий Б. В., Богачев В. А., Голубев А. И. и др., 2002. Новые данные по U-Pb и Sm-Nd изотопному датированию архейских и раннепротерозойских магматических комплексов Карелии // Материалы III Всерос. совещ. «Общие вопросы расчленения докембрия». Апатиты: Кольский научный центр РАН. С. 42–44.
- Богачев В. А., Иваников В. В., Козырева И. В. и др., 1999. U-Pb цирконовое датирование синорогенных габбро-диоритовых и гранитоидных интрузий Северного Приладожья // Вестн. СПб. ун-та, сер. 7, геол. и геогр. Вып. 3 (№ 21). С. 23–33.
- Волков А. В., Новиков И. А., 2002. Золото-сульфидное месторождение Оленинское (Кольский п-ов, Россия) // Геология рудных месторождений. № 5. С. 412–424.
- Гавриленко Б. В., 2003. Минерагения благородных металлов и алмазов северо-восточной части Балтийского щита: Автореф. дис. ... докт. геол.-минер. наук. Апатиты. 64 с.
- Голубев А. И., Кулешевич Л. В., 2001. Перспективы золотоносности протерозойских образований Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 3. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. С. 15–25.
- Горошко А. Ф., Смирнов А. А., Ефимов В. А. и др., 1998. Отчет о результатах поисково-картировочных работ на золото в центральной и южной частях Хаутовааро-Ведлозерской зеленокаменной структуры, проведенных в 1990–1995 гг. // Фонды ПГО «Севзапгеология». (СПб.). 319 с.
- Грендаль Г., 1896. Питкяранта (краткое описание Питкярантского месторождения, рудников, заводов). СПб. 50 с.
- Иващенко В. И., Лавров О. Б., 1994. Магматогенно-рудная (Mo, W, Cu, Au) система Ялонварского вулканоплутонического комплекса архея Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 127 с.
- Иващенко В. И., Лавров О. Б., 1997. Благородно-метальное оруденение Юго-Западной Карелии // Проблемы золотоносности и алмазоносности

- Севера европейской части России. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. С. 44–51.
- Иващенко В. И., Ручьев А. М., Лавров О. Б., Кондрашова Н. И.*, 2000. Петрогенетические особенности золоторудного проявления Алатту (Карелия) // Проблемы магматической и метаморфической петрологии: Тез. докл. X науч. чтений пам. проф. И. Ф. Трусовой. М. С. 12–13.
- Иващенко В. И., Лавров О. Б., Кондрашова Н. И., Ручьев А. М.*, 2002а. Рудно-магматические системы гранитоидного магматизма докембрия Карелии: Отчет // ТГФ Республики Карелия, Петрозаводск. 215 с.
- Иващенко В. И., Ручьев А. М., Лавров О. Б., Кондрашова Н. И.*, 2002б. Рудопроявление Пякюля – новый высокоперспективный тип благороднометального оруденения в докембрии Карелии // Доклады РАН. Т. 384, № 2. С. 232–237.
- Иващенко В. И., Ручьев А. М., Кондрашова Н. И. и др.*, 2004а. Отчет по теме: «Геолого-экономическое обоснование постановки оценочных работ на золото в пределах участка Хатуноя в Суоярвском районе» // ТГФ Республики Карелия, Петрозаводск. 194 с.
- Иващенко В. И., Ручьев А. М., Лавров О. Б. и др.*, 2004б. Эндогенная золоторудная система Суйстамского плутонического комплекса (Северное Приладожье) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 7. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. С. 127–146.
- Иващенко В. И., Кулешевич Л. В., Лавров О. Б. и др.*, 2005а. Эндогенные золоторудные системы докембрия Карелии: Отчет // ТГФ Республики Карелия, Петрозаводск. 62 с.
- Иващенко В. И., Лавров О. Б., Кондрашова Н. И., Ручьев А. М.*, 2005б. Металлогения южной части архейского зеленокаменного пояса Ялонвара – Иломанси – Костомукша Фенноскандинавского щита // Геология и геодинамика архея: Материалы 1-й Рос. конф. по проблемам геологии и геодинамики докембрия. СПб. С. 139–144.
- Кожевников В. Н., Голубев А. И., Рыбаков С. И.*, 1997. О факторах контроля золотометального оруденения в раннем докембрии и типизации перспективных обстановок в Карелии // Проблемы золотоносности и алмазности Севера европейской части России. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. С. 8–17.
- Кожевников В. Н.*, 2000. Архейские зеленокаменные пояса Карельского кратона как аккреционные орогены. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 223 с.
- Константинов М. М., Некрасов Е. М., Сидоров А. А., Стружков С. Ф.*, 2000. Золоторудные гиганты мира. М.: Научный Мир. 272 с.
- Коровкин В. А., Турылева Л. В., Руденко Д. Г. и др.*, 2003. Недрa Северо-Запада Российской Федерации. СПб. 520 с.
- Кулешевич Л. В.*, 2005. Геодинамические режимы формирования золотого оруденения в архейских зеленокаменных поясах Карелии и обстановки его нахождения // Геология и геодинамика архея: Материалы 1-й Рос. конф. по проблемам геологии и геодинамики докембрия. СПб. С. 207–213.
- Кулешевич Л. В., Костин В. А.*, 2003. Кислый магматизм и золоторудная минерализация Южно-Выгозерского зеленокаменного пояса // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 6. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. С. 127–130.
- Кулешевич Л. В., Тытык В. М., Коротаева Н. Н.*, 2004. Золото-полиметаллическое месторождение Лобаш-1 в докембрии Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 7. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. С. 111–126.
- Кузин А. А.*, 1961. История открытий рудных месторождений в России. М.: Изд-во АН СССР. 358 с.
- Ларин А. М.*, 1990. Изотопно-геохронологические свидетельства отсутствия связи молибденового оруденения с гранитным магматизмом на месторождении Лобаш, Восточная Карелия // Изотопное датирование эндогенных рудных формаций: Тез. докл. всесоюз. совещ. Киев. С. 113–120.
- Ларионова Ю. О., Самсонов А. В., Носова А. А., Шагагин К. Н.*, 2005. Палеопротерозойская золоторудная минерализация в архейских и палеопротерозойских гранитоидах Карелии // Геология и геодинамика архея: Материалы 1-й Рос. конф. по проблемам геологии и геодинамики докембрия. СПб. С. 220–226.
- Леденева Н. В., Пакульнис Г. В.*, 1997. Минералогия и условия образования уран-ванадиевых месторождений Онежской впадины (Россия) // Геология рудных месторождений. Т. 39. С. 258–268.
- Медведев Л. В.*, 2000. Разведка и добыча золота и металлов платиновой группы на Нименьгской площади. Инвест. проект. Архангельск.
- Мельников Е. К., Петров Ю. В., Савицкий А. В.*, 1992. Новый район с месторождениями богатых комплексных руд в Южной Карелии // Разведка и охрана недр. № 5. С. 15–19.
- Металлогения Карелии*, 1999 / Отв. ред. С. И. Рыбаков, А. И. Голубев. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 340 с.
- Минерально-сырьевая база Республики Карелия*, 2005. Кн. 1 / Под ред. В. П. Михайлова и В. Н. Аминова. Петрозаводск: Карелия. 278 с.
- Минеральное сырье: Справочник*, 1999 / Под ред. В. П. Орлова. М.: ЗАО Геоинформмарк. 302 с.
- Покалов В. Т.*, 1992. Рудно-магматические системы гидротермальных месторождений. М.: Недрa. 288 с.
- Проблемы золотоносности и алмазности Севера европейской части России*, 1997 / Отв. ред. А. И. Голубев, С. И. Рыбаков. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 136 с.
- Сафонов Ю. Г.*, 1997. Гидротермальные золоторудные месторождения: распространенность – генетические типы – продуктивность рудообразующих систем // Геология рудных месторождений. № 1. С. 25–40.
- Сафонов Ю. Г., Волков А. В., Вольфсон А. А. и др.*, 2001. Геолого-генетические особенности месторождения золота Майское (Северная Карелия) // Геология рудных месторождений. № 1. С. 25–40.
- Сафонов Ю. Г., Попов В. В., Волков А. В. и др.*, 2005. Геодинамические факторы образования крупных и сверхкрупных докембрийских золоторудных концентраций // Крупные и суперкрупные месторождения: закономерности размещения и условия образования. М. С. 15–46.
- Сидоров А. А., Волков А. В.*, 2001. О связи крупных золото-сульфидных месторождений с ртутной и сурьмяной минерализацией // Доклады РАН. Т. 379, № 6. С. 802–806.
- Солдатенко В. Е., Колбин В. А., Пуминов Я. А., Бойко Н. Г.*, 1999. Регистрационная карта полезных ископаемых Республики Карелия по результатам работ ГП «Невскгеология»: Отчет // ТГФ Республики Карелия, Петрозаводск. 216 с.

- Степанов К. И., Путинцева Е. В., Мурадымов Г. Ш. и др., 2004. Отчет по теме: «Производство поисковых работ в пределах Сортавальской площади (поиски медно-никелевых, полиметаллических и золоторудных месторождений)» // Там же.
- Фурман В. Н., 2001. Отчет о результатах поисковых работ на золото, проведенных в южной части Костомукшской зеленокаменной структуры в 1998–2001 гг. // Там же.
- Юдин С. Н., 2003. О результатах поисков месторождений золота на Приграничной площади в пределах гранит-зеленокаменной области Ялонвара – Иломантси за 2003 г.: Информационный отчет // Там же.
- Aberg A., Fallick A. E., 1993. A fluid inclusion and light element stable isotope study of the gold-bearing quartz vein system, Falun, Sweden // *Mineralium Deposita*. Vol. 28. P. 324–333.
- Allen R. L., Weihed P., Svenson S.-A., 1996. Setting of Zn-Cu-Au-Ag massive sulfide deposits in the evolution and facies architecture of a 1.9 Ga marine volcanic arc, Skellefte district, Sweden // *Economic geology*. Vol. 91. P. 1022–1053.
- Alm E., Broman C., Billstrom K., Sundblad K., Torssander P., 2003. Fluid characteristics and genesis of the late Proterozoic, orogenic gold quartz veins in the Kama's area, southwestern Sweden // *Economic geology*. Vol. 98. P. 1311–1328.
- Alm E., Sundblad K., 1994. Sveconorwegian polymetallic quartz veins in Sweden // *Neues Jahrbuch Mineralogie Monatshefte*. Vol. 1. P. 1–22.
- Bergman J., 1992. Structural geology of Grundfors, a quartz vein related gold deposit in the Skellefte district, northern Sweden // *Geologiska Foreningens i Stockholm Forhandlingar*. Vol. 114. P. 227–234.
- Bergman T., Sundblad K., 1991. Boviksgruvan, a Au-Bi-bearing sulphide deposit in the Bergslagen province, south central Sweden // *Geologiska Foreningens i Stockholm Forhandlingar*. Vol. 113. P. 327–333.
- Bergman Weihed J., Bergstrom U., Billstrom K., Weihed P., 1996. Geology, tectonic setting, and origin of the Paleoproterozoic Boliden Au-Cu-As deposit, Skellefte district, northern Sweden // *Economic geology*. Vol. 91. P. 1073–1097.
- Billstrom K., Weihed P., 1996. Age and provenance of host rocks and ores in the Palaeoproterozoic Skellefte district, northern Sweden // *Economic geology*. Vol. 91. P. 1054–1072.
- Bjorlykke A., Hagen R., Soderholm K., 1987. Bidjovagge copper-gold deposit in Finnmark, northern Norway // *Economic geology*. Vol. 82. P. 2059–2075.
- Bjorlykke A., Gunning G. L., Krstic D., 1990. New isotopic data from davidites and sulfides in the Bidjovagge gold-copper deposit, Finnmark, northern Norway // *Mineralogy and Petrology*. Vol. 43. P. 1–21.
- Blomqvist M., Leijd M., 1999. Vargbacken—a quartz vein hosted gold deposit in the westernmost Skellefte district, northern Sweden // N. J. Cook and K. Sundblad (eds). *Precambrian gold in the Fennoscandian and Ukrainian Shields and related areas / Geological Survey of Norway, Gold 99*. Trondheim. May 4–6, 1999. Abstract volume. P. 30–31.
- Broman C., Billstrom K., Gustavsson K., Fallick A. E., 1994. Fluid inclusions, stable isotopes, and gold deposition at Bjorkdal in northern Sweden // *Mineralium Deposita*. Vol. 29. P. 139–149.
- Ciobanu C. L., Cook N. L., Sundblad K., 2002. Genetic insights from exotic trace mineral associations at Orijarvi and Ilijarvi, SW Finland [abs.] // 4th GEODE-supported workshop in the Fennoscandian (and Ukrainian) Shields, Metallogeny of Precambrian Shields. Kiev, Ukraine. September 18–20, 2002. Abstract volume. P. 41–45.
- Claesson S., Lundqvist T., 1995. Origins and ages of Proterozoic granitoids in the Bothnian Basin, central Sweden: Isotopic and geochemical constraints // *Lithos*. Vol. 36. P. 115–140.
- Cook N. J., 1999. Telluride minerals in the Proterozoic Bidjovagge Au-Gu deposit, Finnmark, Norway, and their formation conditions [abs.] // N. J. Cook and K. Sundblad (eds). *Precambrian gold in the Fennoscandian and Ukrainian Shields and related areas / Geological Survey of Norway, Gold 99*. Trondheim. May 4–6, 1999. Abstract volume. P. 60–62.
- Cumming G. L., Krstic D., Bjorlykke A., Aasen H., 1993. Further analysis of radiogenic minerals from the Bidjovagge gold-copper deposit, Finnmark, northern Norway // *Mineralogy and Petrology*. Vol. 49. P. 63–70.
- Eilu P., 1999. Fingold – a public database on gold deposits in Finland // *Geological Survey of Finland*. Report of Investigation 146. Espoo. 224 p.
- Eilu P., Sorjonen-Ward P., Nurmi P., Niiranen T., 2003. A review of gold mineralization styles in Finland // *Economic geology*. Vol. 98. P. 1329–1353.
- Ekberg M., Sotka P., 1991. Production mineralogy and selective mining at Bidjovagge mine, northern Norway // L. F. Haughton and J. Markgraaff (eds.). *International Conference on Applied Mineralogy, Pretoria / Mineralogical Association of South Africa*. Vol. 1. P. 15.
- Ettner D. C., Bjorlykke A., Andersen X., 1993. Fluid evolution and Au-Cu genesis along a shear zone: A regional fluid inclusion study of shear zone hosted alteration and gold and copper mineralization in the Kautokeino greenstone belt, Finnmark, Norway // *Journal of Geochemical Exploration*. Vol. 49. P. 233–267.
- Ettner D. C., Bjorlykke A., Andersen X., 1994. A fluid inclusion and stable isotope study of the Proterozoic Bidjovagge Au-Cu deposit, Finnmark, northern Norway // *Mineralium Deposita*. Vol. 29. P. 16–29.
- Gaal G., Gorbatshev R., 1987. An outline of the Precambrian evolution of the Baltic Shield // *Precambrian Research*. Vol. 35. P. 15–52.
- Gaal G., Isohanni M., 1979. Characteristics of igneous intrusions and various wall rocks in some Precambrian porphyry copper-molybdenum deposits in Pohjanmaa, Finland // *Economic geology*. Vol. 74. P. 1198–1210.
- Gaal G., Parkkinen J., 1993. Early Proterozoic ophiolite-hosted copper-zinc-cobalt deposits of the Outokumpu type // *Geological Association of Canada*. Special Paper 40. P. 335–341.
- Gaal G., Sundblad K., 1990. Metallogeny of gold in the Fennoscandian Shield // *Mineralium Deposita*. Vol. 25. P. S104–S114.
- Gavrilenko B. V., Kazakhov N. V., Kalinin A. A., 1999. Rezhenova. Native gold in primary and placer deposits of Kola Region (Russia) [abs.] // N. J. Cook and K. Sundblad (eds). *Precambrian gold in the Fennoscandian and Ukrainian Shields and related areas / Geological Survey of Norway, Gold 99*. Trondheim. May 4–6, 1999. Abstract volume. P. 75–77.
- 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.
- 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.*
- Groves D. I., Goldfarb R. J., Gebre-Mariam M. et al., 1998. Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types // Ore Geology Reviews. Vol. 13. P. 7–27.*
- Groves D. I., Goldfarb R. J., Robert F., Hart C. J. R., 2003. Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance // Economic Geology. Vol. 98. P. 1–29.*
- Hallberg A., Fallick A. E., 1994. The Enasen gold deposit, central Sweden: 2. Light element stable isotope evidence of premetamorphic hydrothermal activity // Mineralium Deposita. Vol. 29. P. 163–169.*
- Hart I., Marsh S., Laurent L., 1999. Svartliden – a new style of mineralisation in the Skellefte district [abs.] // N. J. Cook and K. Sundblad (eds). Precambrian gold in the Fennoscandian and Ukrainian Shields and related areas / Geological Survey of Noway, Gold 99. Trondheim. May 4–6, 1999. Abstract volume. P. 87–88.*
- Ihlen P. M., 1986. Late Proterozoic gold deposits of the Eidsvoll-Odalen district, southeast Norway // Terra Cognita. Vol. 6. P. 538.*
- Ihlen P. M., 1995. Geology and gold deposits in the Eidsvoll-Odalen region, Norway // Gronlands Geologiske Undersogelse. Open File Series. Vol. 95/10. P. 134–147.*
- Ihlen P. M., 1999. Gold deposits in Norway – a review [abs.] // N. J. Cook and K. Sundblad (eds). Precambrian gold in the Fennoscandian and Ukrainian Shields and related areas / Geological Survey of Noway, Gold 99. Trondheim. May 4–6, 1999. Abstract volume. P. 96–98.*
- Kahma A., 1973. The main metallogenetic features of Finland // Geological Survey of Finland Bulletin. Vol. 265. 28 p.*
- Karup-Moller S., 1970. Weibullite, laitakarite, and bismuthinite from Falun, Sweden // Geologiska Foreningens i Stockholm Forhandlingar. Vol. 92. P. 181–187.*
- Kontinen A., 1987. An Early Proterozoic ophiolite – the Jormua mafic-ultra-mafic complex, northeastern Finland // Precambrian Research. Vol. 35. P. 313–341.*
- Kontoniemi O., 1998. Geology of the Paleoproterozoic synkinematic Osikonmaki granitoid intrusion at Rantasalmi, southeastern Finland // Geological Survey of Finland, Special Paper, N 25. P. 19–38.*
- Kumpulainen R., Mansfeld J., Sundblad K. et al., 1996. Stratigraphy, age, and Sm-Nd isotope systematics of the country rocks to Zn-Pb sulfide deposits, Ammeberg district, Sweden // Economic geology. Vol. 91. P. 1009–1021.*
- Lundqvist T., 1987. Early Svecofennian stratigraphy of southern and central Norrland, Sweden, and possible existence of an Archaean basement west of the Svecokarellides // Precambrian Research. Vol. 35. P. 343–352.*
- Lundqvist T., Vaasjoki M., Persson P.-O., 1998. U-Pb ages of plutonic and volcanic rocks in the Svecofennian Bothnian basin, central Sweden, and their implications for the Palaeoproterozoic evolution of the basin // GFF. Vol. 120. P. 357–363.*
- Luukonen A., 1994. Main geological features, metallogeny, and hydrothermal alteration phenomena of certain gold and gold-tin-tungsten prospects in southern Finland // Geological Survey of Finland Bulletin. Vol. 377. 153 p.*
- Makela K., 1980. Geochemistry and origin of Haveri and Kipu, Proterozoic strata-bound volcanogenic gold-copper and zinc mineralizations from southwestern Finland // Geological Survey of Finland Bulletin. Vol. 310. 79 p.*
- Motuza G., Motuza V., Beliatsky B., Sawa E., 2001. Volcanic rocks of the Ringvassoya greenstone belt (North Norway): Implication for the stratigraphy and tectonic setting // Journal of Conference Abstracts. Vol. 6. P. 577–578.*
- Nilsen K. S., Bjorlykke A., 1991. Geological setting of the Bidjovagge gold-copper deposit, Finnmark, northern Norway // GFF. Vol. 113. P. 60–61.*
- Nironen M., 1997. The Svecofennian orogen: A tectonic model // Precambrian Research. Vol. 86. P. 21–44.*
- Nurmi P. A., Ward P., 1989. Geology and gold mineralization in the Hattu schist belt, Ilomantsi, eastern Finland. Current Research 1988 // Geol. Surv. Finland. Spec. Paper 10. P. 45–48.*
- Nystrom J.-O., Henriquez F., 1994. Magmatic features of iron ores of the Kiruna type in Chile and Sweden: Ore textures and magnetite geochemistry // Economic geology. Vol. 89. P. 820–839.*
- Oen I. S., Kieft C., 1984. Paragenetic relations of Bi-, Ag-, Au-, and other tellurides in bornite veins at Glava, Varmland, Sweden // Neues Jahrbuch Mineralogie, Abhandlungen. Vol. 149. P. 245–266.*
- Ohlander B., Markkula H., 1994. Alteration associated with the gold-bearing quartz veins at Middagsberget, northern Sweden // Mineralium Deposita. Vol. 29. P. 120–127.*
- Pankka H. S., Vanhanen E. J., 1989. Aulakogen related epigenetic Au-Co-U deposits in northeastern Finland // Geol. Surv. of Finland. Current Research. Espoo. P. 91–94.*
- Pankka H. S., Vanhanen E. J., 1992. Proterozoic Au-Co-U mineralization in the Kuusamo district, northeastern Finland // Precambrian Research. Vol. 58. P. 387–400.*
- Petersen J. S., Jensen S. M., 1995. Bleka gold fields in Telemark, south Norway // Gronlands Geologiske Undersogelse, Open File Series. Vol. 95/10. P. 62–64.*
- Poutiainen M., Gronholm P., 1996. Hydrothermal fluid evolution of the Paleoproterozoic Kutemajarvi gold telluride deposit, southwest Finland // Economic geology. Vol. 91. P. 1335–1353.*
- Rickard D. T., Zweifel H., 1975. Genesis of Precambrian sulfide ores, Skellefte district, Sweden // Economic geology. Vol. 70. P. 255–274.*
- Ripa M., 2001. A review of the Fe oxide deposits of Bergslagen, Sweden and their connection to Au mineralization // Sveriges geologiska undersokning, C. N 833. P. 132–136.*
- Rouhunkoski P., Isokangas P., 1974. The copper-gold vein deposit of Kivimaa at Tervola, N-Finland // Bulletin of the Geological Society of Finland. Vol. 46. P. 29–35.*
- Skyseth T., Reitan P., 1995. Geology and genesis of Gautelisfjell gold deposit, Rombak Window, northern Norway: A link between retrograde Caledonian metamorphism and saline fluids // Gronlands Geologiske Undersogelse. Open File Series. Vol. 95/10. P. 94–98.*
- Soderhielm J., Sundblad K., 1996. The Solstad Cu-Co-Au mineralization and its relation to post-Sveco-*

- fennian regional shear zones in south eastern Sweden // GFF. Vol. 118. P. A47.
- Stein H. J., Morgan J. W., Markey R. J., Hannah J. L.,* 1999. The status of the Re-Os chronometer for dating sulfides and oxides // Stanley et al. (eds.). Mineral deposits: Processes to processing. Rotterdam: Balkema. P. 1291–1294.
- Sundblad K.,* 2003. Metallogeny of gold in the precambrian of Northern Europe // Economic geology. Vol. 98. P. 1271–1290.
- Sundblad K., Weihed P., Markkula H. et al.,* 1993. Source of metals and age constraints for epigenetic gold deposits in the Skellefte and Pohjanmaa districts, central part of the Fennoscandian Shield // Mineralium Deposita. Vol. 28. P. 181–190.
- Sundblad K., Bjorlykke A., Alm E.,* 1996. Sources of lead in the Mjosa-Vanern gold quartz veins, Southwest Scandinavian domain // GFF. Vol. 118. P. A47–48.
- Sundblad K., Mansfeld J., Sarkinen M.,* 1997. Palaeoproterozoic rifting and formation of sulphide deposits along the southwestern margin of the Svecofennian domain, southern Sweden // Precambrian Research. Vol. 82. P. 1–12.
- Sundblad K., Krstic D., Bergman T., Lindblom S.,* 1999. Geology and origin of the Proterozoic gold quartz veins at Adelfors, southeastern Sweden [abs.] // N. J. Cook and K. Sundblad (eds). Precambrian gold in the Fennoscandian and Ukrainian Shields and related areas / Geological Survey of Norway, Gold 99. Trondheim. May 4–6, 1999. Abstract volume. P. 159–162.
- Turchenko S. I., Semenov V. S., Amelin Ju. V. et al.,* 1991. The Early Proterozoic riftogenic belt of Northern Karelia and associated Cu-Ni, PGE, and Gu-Au mineralizations // Geologiska Foreningens i Stockholm Forhandlingar. Vol. 113. P. 70–72.
- Vanhanen E.,* 2001. Geology, mineralogy, and geochemistry of the Fe-Co-Au-(U) deposits in the Paleoproterozoic Kuusamo schist belt, northeastern Finland // Geological Survey of Finland Bulletin. Vol. 399. 229 p.
- Vorma A.,* 1960. Laitakarite a new Bi-Se-mineral // Geological Survey of Finland Bulletin. Vol. 188. P. 1–10.
- Wanhainen C., Martinsson O., Kontturi M.,* 1999. The Aitik Cu-Au deposit, Gellivare region, northern Sweden [abs.] // N. J. Cook and K. Sundblad (eds). Precambrian gold in the Fennoscandian and Ukrainian Shields and related areas / Geological Survey of Norway, Gold 99. Trondheim. May 4–6, 1999. Abstract volume. P. 163–165.
- Weihed P.,* 2001. A review of Paleoproterozoic intrusive hosted Cu-Au-Fe-oxide deposits in northern Sweden // Sveriges geologiska undersokning, C. N 833. P. 4–32.
- Weihed P., Maki T.,* 1997. Volcanic hosted massive sulphide and gold deposits in the Skellefte district, Sweden and western Finland // Geological Survey of Finland Guide. Vol. 41. 81 p.
- Weihed P., Bergman Weihed J., Sorjonen-Ward P., Matsson B.,* 2002. Post-deformation, sulphide-quartz vein hosted gold ore in the footwall alteration zone of the Palaeoproterozoic Langdal VHMS deposit, Skellefte district, northern Sweden // GFF. Vol. 124. P. 201–210.
- Weihed R. Bergman Weihed J., Sorjonen-Ward P.,* 2003. Structural evolution of the Bjorkdal gold deposit, Skellefte district, northern Sweden: Early Proterozoic mesothermal gold in the late stage of the Svecokarelian orogen // Economic geology. Vol. 98. P. 1291–1309.
- Wikstrom T., Sundblad K.,* 1999. Ore petrology of the Bjorkdal deposit, Skellefte district, northern Sweden [abs.] // N. J. Cook and K. Sundblad (eds). Precambrian gold in the Fennoscandian and Ukrainian Shields and related areas / Geological Survey of Norway, Gold 99. Trondheim. May 4–6, 1999. Abstract volume. P. 166–168.
- Zweifel H.,* 1976. Aitik: Geological documentation of a disseminated copper deposit – a preliminary investigation // Sveriges Geologiska Undersokning. Vol. C720. 80 p.