

УДК 553.411:470.22

ЗОЛОТОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ТАЛОВЕЙС В КОСТОМУКШСКОЙ ДОКЕМБРИЙСКОЙ ЗЕЛЕНОКАМЕННОЙ СТРУКТУРЕ (КАРЕЛИЯ)

© 2009 г. Л. В. Кулешевич*, В. Н. Фурман**

*Институт геологии Карельского НЦ РАН
185610, Петрозаводск, Пушкинская, 11

**Карельская геологическая экспедиция
185030, Петрозаводск, пр. А. Невского, 65

Поступила в редакцию 18.12.2006 г.

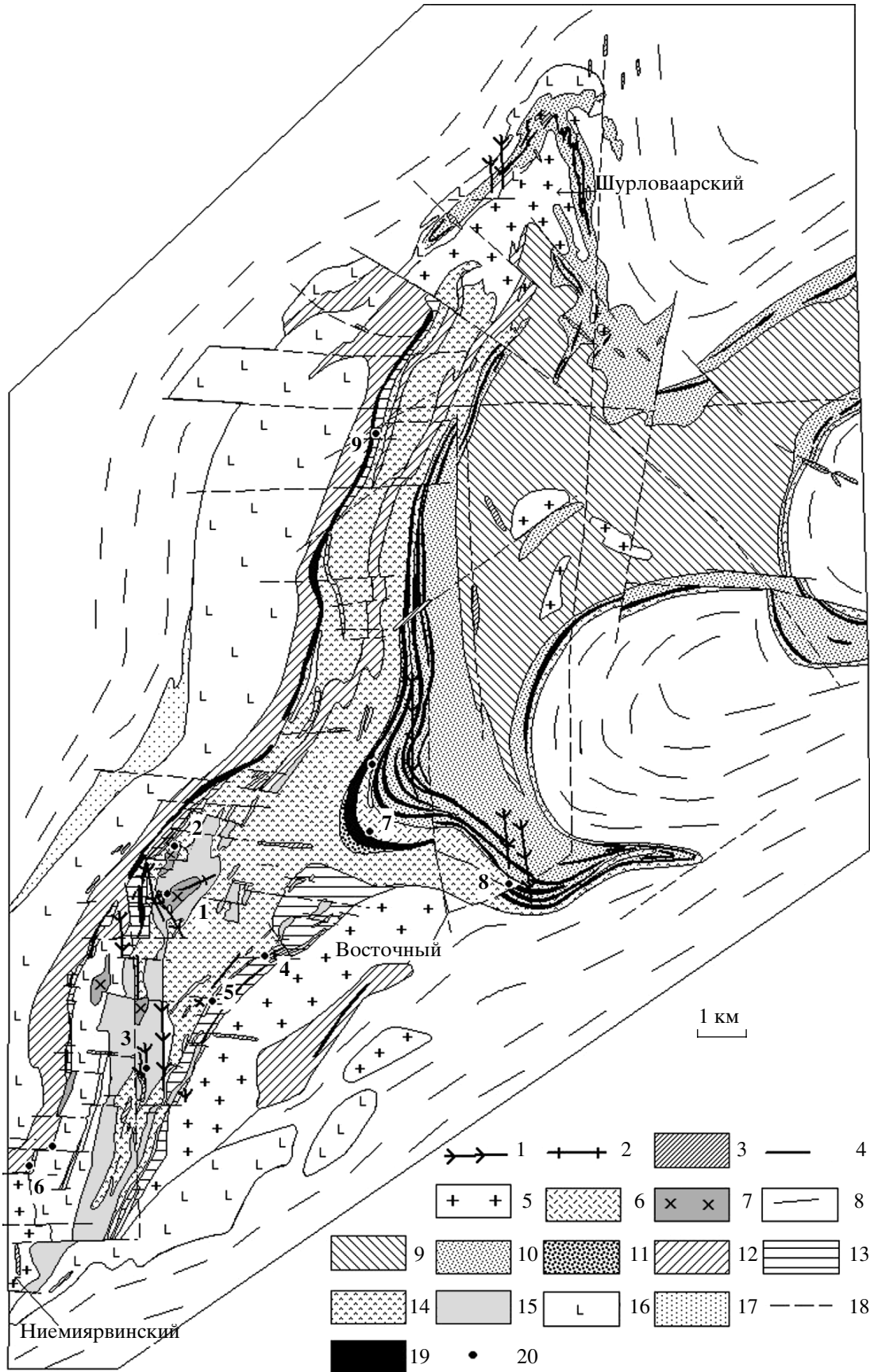
Костомукшская зеленокаменная структура является основным железорудным районом Карелии. В пределах площади в последнее двадцатилетие были также обнаружены золото, алмазы, молибденовая минерализация. Золоторудные рудопоявления и месторождения Костомукшской структуры, образовавшиеся на орогенном этапе развития территории, относятся к золото-сульфидной и золото-кварцевой рудным формациям. С комплексом диоритов–гранит–порфиров в пределах Южно-Костомукшской площади связаны месторождение Таловейс, рудопоявления Факторное и Берендей. К сдвиговым зонам деформаций и метасоматического преобразования вмещающих толщ и перекристаллизованным колчеданным рудам приурочены золото-сульфидные и золото-сульфидно-кварцевые рудопоявления: Западное Рувинваарское, Ниемиярвинское, Восточное, Кургелампи, локализованные в породах шурловаарской или рувинваарской свит в ореоле влияния гранитов обрамления вблизи бортов структуры. С зонами расланцевания и метасоматического преобразования пород костомукшской свиты на контакте с геллефлинтами связана золото-арсенопиритовая минерализация Южно-Костомукшского карьера. Делаются выводы о стадийности накопления золота и связи его более значимых концентраций с диорит-гранит-порфировым комплексом и с зонами сдвиговых деформаций и метасоматического преобразования пород, формирующихся на коллизионном этапе развития структуры после внедрения калиевых гранитов. Небольшое докембрийское золоторудное месторождение Таловейс расположено в южной части Костомукшской структуры. Месторождение приурочено к диорит-гранит-порфировой интрузии с возрастом 2720 млн. лет. Оруденение представлено двумя основными формационными типами: золото-сульфидным (золото-пиритовым минеральным типом) в березитизированных гранитах и малосульфидным золото-кварцевым в зонах расланцевания, имеющих азимут простирания 20°, одинаковый с направлением сдвиговых зон в Костомукшской структуре. Содержание золота в рудах колеблется от 0.5 до 60 г/т.

ВВЕДЕНИЕ

Золоторудные проявления и месторождения в докембрийских толщах Карелии наиболее интенсивно начали изучаться с начала 1980-х годов благодаря работам Карельской ГЭ, производственных и научно-исследовательских организаций. Наиболее полное обобщение всех имеющихся материалов по золоту Карелии было предпринято при выполнении межведомственной тематической работы “Золото Карелии” в середине 90-х годов. В результате этих исследований Карельской ГЭ был создан кадастр золоторудных объектов, а в ИГ КНЦ РАН – электронная база данных “Золото Карелии”, а также была доказана перспективность ряда докембрийских структур, одной из которых признана Костомукшская зеленокаменная структура.

Изучение Костомукшской архейской зеленокаменной структуры осуществлялось в течение многих десятков лет главным образом в связи с освоением Костомукшского железорудного месторождения, уточнением геологического строения, метаморфизма и в связи с поисками железистых кварцитов (Чернов, 1964; Горьковец и др., 1981, 1991). Однако до середины 80-х годов изучению золота в этой структуре практически не уделялось внимания, хотя при опробовании зон сульфидной минерализации иногда устанавливались содержания, превышающие 0.1–0.5 г/т. В результате исследований, проведенных Карельской ГЭ – В.В. Ушковым (1989 г.) и В.Н. Фурманом (2001 г.), в Костомукшской структуре был обнаружен целый ряд проявлений золота (фиг. 1), отнесенных к нескольким рудно-формационным типам (золото-сульфидному, золото-кварцевому, золото-джеспилитовому), а также были выявлены новые проявления мо-

Адрес для переписки: Л.В. Кулешевич. E-mail: kuleshev@krc.karelia.ru



либдена и дайки лампроитов, перспективные на алмазы.

В колчеданных залежах западной полосы в полочатой формации шурловаарской свиты были установлены содержания золота, превышающие фоновые значения, и обнаружены рудопроявления – Западное Рувинваарское и Ниemiaрвинское. В Южном карьере Костомукшского железорудного месторождения были выявлены проявления вкрапленных золото-сульфидных (арсенопиритовых) руд в зоне рассланцевания и метасоматического преобразования в биотит-кварцевых сланцах и железистых кварцитах на контакте с геллефлинтами (Южно-Костомукшское). В южной части структуры обнаружены рудопроявления: Факторное, Берендей, С-16П и небольшое месторождение Таловейс золото-сульфидно-кварцевого и золото-кварцевого рудно-формационных типов, связанные с диорит-гранит-порфировым комплексом малых внутроструктурных интрузивов и даек (таловейским). Вблизи контакта с гранитным массивом Восточным в зонах рассланцевания в амфибол-биотитовых и биотит-полевошпатовых сланцах были установлены проявления золото-сульфидно-кварцевого типа (Восточное и Кургелампи) в общей зональности с молибденитовой минерализацией. Рудопроявления золота Южно-Костомукшской площади, связанные с диоритами-гранит-порфирами были объединены в рудное поле Таловейс.

Изучение геохимии и вещественного состава руд на этих золоторудных объектах Костомукшской структуры проводились А.М. Дружининым (ЦНИГРИ), А.С. Марченко (СПб горный у-нт), исследования рудопроизводящих гранитоидных комплексов, метасоматических изменений пород, минералогии, условий и последовательности золотого рудообразования – Л.В. Кулешевич (ИГ КарНЦ) в рамках совместных работ с Карельской ГЭ (Кулешевич, 2002_{1,2}; Кулешевич и др., 2000, 2004, 2005; Кулешевич, Васюкова, 2005).

Настоящая статья посвящена:

1) характеристике золоторудных объектов Костомукшской структуры и их геологической позиции, выявлению связи или ее отсутствия с магматизмом или зонами метасоматического пре-

образования пород; 2) детальному описанию золото-сульфидно-кварцевого и золото-кварцевого формационных типов руд месторождения Таловейс и других золоторудных объектов этого рудного поля, связанных с диоритами-гранит-порфирами; 3) установлению состава руд и условий их образования.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ КОСТОМУКШСКОЙ СТРУКТУРЫ

По принятой стратиграфической схеме в Костомукшской структуре традиционно выделяют (снизу вверх): нюкозерскую гнейсовую толщу, контоксую серию, включающую ультрамафит-мафитовую ниemiaрвинскую и руvinваарскую свиты, шурловаарскую свиту кислых осадочно-вулканогенных пород и залегающую выше гимольскую серию, представленную конгломератами, кварц-биотитовыми и углеродистыми сланцами, железисто-кремнистой толщей и магнетитовыми рудами костомукшской свиты и терригенно-осадочным комплексом сурлампинской свиты (Горьковец и др., 1981, 1991). Однако последние результаты изотопного датирования и данные геохимии позволяют несколько по-иному проинтерпретировать развитие структуры и рассматривать положение стратиграфических единиц соответственно их геохронологическому возрасту. В связи с чем, относительно геодинамического развития этой структуры в позднем архее, сложилось несколько иных мобилистских представлений, отличающихся в некоторых деталях, моделях, но в целом определяющих ее двухстадийное развитие (Пухтель, 1996; Puchtel *et al.*, 1997; Samsonov *et al.*, 1995; Кожевников, 2000; Лобач-Жученко и др., 2000₁): раннее (океанический спрединг, либо заложение и развитие позднеархейского внутриконтинентального рифта) и орогенное (на аккреционно-коллизивной стадии).

Аккрецированные супракрустальные образования лопийского комплекса верхнего архея Костомукшской структуры включают следующие толщи в объеме контоксской и гимольской серий (фиг. 1, табл. 1): 1) ультрамафит-мафитовую (в объеме ниemiaрвинской и руvinваарской свит контоксской серии); 2) кислые вулканыты, туфы, железисто-крем-

Фиг. 1. Схема геологического строения Костомукшской структуры. Составлена на основе карт В.Я. Горьковца и В.Н. Фурмана.

1, 2 – дайковый комплекс: 1 – лампроиты (R), 2 – щелочные пикриты; 3 – нерасчлененные габбро (AR₂-PR₁); 4 – дайки андезитов, дацитов (AR₂); 5–7 – позднеорогенные интрузивные образования (AR₂): 5 – калиевые граниты, 6 – риодациты (геллефлинты, плагиопорфиры), 7 – таловейский комплекс диоритов, кварцевых диоритов, гранит-порфиров; 8 – тоналиты, гранито-гнейсы; 9–11 – гимольская серия (AR₂): 9 – сланцы сурлампинской свиты, 10 – кварц-биотитовые, амфибол-биотитовые сланцы и железистые кварциты, 11 – конгломераты; 12–16 – контокская серия (AR₂): шурловаарская свита: 12 – вулканогенные образования (риодациты, туфы), 13 – углеродсодержащие, кварц-биотитовые, амфибол-биотитовые сланцы, железистые кварциты, полосчатые амфиболиты, руvinваарская свита: 14 – базальты, вариолитовые базальты, 15 – коматииты, коматиитовые базальты, ниemiaрвинская свита: 16 – амфиболиты по базальтам; нюкозерская толща: 17 – двуслюдяные сланцы; 18 – разломы; 19 – железные руды; 20 – золоторудные проявления: 1 – месторождение Таловейс, рудопроявления: 2 – Факторное, 3 – Берендей, 4 – Кургелампи, 5 – Восточное, 6 – Ниemiaрвинское, 7 – Костомукшский карьер, 8 – Южно-Костомукшское, 9 – Западное Руvinваарское.

Таблица 1. Стадийность основных геологических событий, фиксируемых в Костомукшской зеленокаменной структуре

Стратиграфическая шкала	Режимы развития	Возраст, млн. л.*	Осадочно-вулканогенные образования	Возраст, млн. л.*	Интрузивные комплексы	Структурно-тектоническая перестройка, метаморфизм, метасоматоз	Металлогеническая специализация
Протерозой. Средний рифей	Активизация глубинных разломов (рифтогенный)	1230–1241 (Sm-Nd, Rb-Sr)		1230–1241 (Sm-Nd, Rb-Sr)	Комплекс даек калиевых щелочных ультраосновных пород: лампроиты, щелочные шикриты	Активизация ССЗ, ВСВ разломов (калиевый метасоматоз)	Алмазы (перспективы)
Протерозой	Коллизионный	(1900–1800)		(1900–1800)		Свекофеннский этап деформаций: крупные блоковые перемещения	
Карелий: Ягулий-сумий	Активизация глубинных разломов (рифтогенный)	?		?	Дайки габбро-долеритов (нерасчлененные)	ССЗ, СЗ и субширотные разломы, контролирующее развитие даек	Бедное вкрапленное титано-магнетитовое оруденение
Верхний архей. Лопий	Позднеорогенный, коллизионный	2700 ± 40 (U-Pb)		2700 ± 40 (U-Pb)	Комплекс шурловаарских и Niemijärvi-гранитов калиевых гранитов (гранодиориты, граниты, лейкограниты, аплиты, пегматиты)	Поздний этап деформаций (ДЗ), смятие железистых кварцитов, свдвиговые зоны ССВ-20° простирания, амфиболитовая фация (мигматизация, микроклинизация, кварцевые жилы, окварцевание, грейзензация, биотитизация, скарноиды)	Молибденитовое оруденение, формирование в свдвиговых зонах промышленных золотокварцевых жил, золотосульфидно-кварцевого и шеелит-золото-сульфидно-кварцевого оруденения
		2707 ± 31 (U-Pb)		2707 ± 31 (U-Pb)	Раутаойский комплекс: геллефлинты (фельзиты, натриевые ридолит-порфиры)	Связь с правосторонними свдвиговыми деформациями (Д2 ²), сопровождающимися низкотемпературными гидротермальными изменениями (окварцевание, турмалинизация)	Золото-сульфидная (пирротин-арсенопиритовая) минерализация
		2720 ± 15 (U-Pb)		2720 ± 15 (U-Pb)	Таловейский комплекс: диориты, кварцевые диориты, гранит-порфиры, дайки андезитов, микродиоритов. Дайки габбро	Формирование в узлах свдвиговых зон ССВ и В простираций хрупкопластичных деформаций (Д2 ¹). Приконтактовые деформации и изменения (пропилиты, лиственизация, биотитизация); березитизация гранитоидов	Золото-сульфидное и золотосульфидно-кварцевое (Au, Ag, Bi, Pb, Zn, Cu) штокерковое оруденение

Таблица 1. Окончание

Стратиграфическая шкала	Режимы развития	Возраст, млн. л.*	Осадочно-вулканогенные образования	Возраст, млн. л.*	Интрузивные комплексы	Структурно-тектоническая перестройка, метаморфизм, метасоматоз	Металлогеническая специализация
	Шельфовые и окраинно-континентальные обстановки	?	Гимольская серия (ks, <u>swg</u> , свиты): конгломераты, железистокремнистая толща, углеродсодержащие, биотитовые, амфиболовые сланцы, тальк-хлорит-карбонатные сланцы	?	Массивы тоналитов, плагиогранитов в обрамлении структуры	Ранний этап складчато-разрывных деформаций (D1 ²). Метаморфизм в условиях эпидот-амфиболитовой – амфиболитовой фаций. Образование крупных массивов ТТГ в обрамлении структуры	Железистые кварциты, в последствии метаморфизованные
	Раннеорогенный	2801 – 2795 ± 10 (U-Pb)	Шурловаарская свита: риодациты, туфогенно-осадочная толща, агломеративные туфы, железисто-кремнистые и углеродистые сланцы	2795 ± 2,9 (U-Pb)	Дайки порфиоров, экструзии	Ранние сдвиговые зоны СВ простирания внутри структуры (D1 ¹)	Колчеданы, магнетитовые руды, бедная золото-сульфидная минерализация
	Океанический спрединг (или рифтогенный)	2843 ± 39 (Sm-Nd)	Конгокская серия (mp, <u>tl</u> свиты): Ультрамафит-мафитовая толща: метаморфизованные толеитовые базальты, коматиты, коматитовые базальты, их туфы, кремнистые осадки. В верхних горизонтах шаровые и вариолитовые лавы коматитовых базальтов и натриевых дацитов		Интрузивные перидотиты и габбро	Заложение субмеридиональной троговой структуры	Никель (бедная вкрапленная миллерит-пентландит-пирротиновая минерализация, метаморфогенная)

* Использованы результаты изотопного датирования С.Б. Лобач-Жученко и др. (2000), (Samsonov *et al.*, 1995, 1999), И.С. Пухтеля и др. (1996), (Puchtel *et al.*, 1997), Л.П. Никитиной и др. (1999).

нистые горизонты магнетитовых и сульфидных руд (шурловаарская свита контоксской серии); 3) амфибол-биотитовые сланцы, железисто-кремнистую толщу, магнетитовые руды костомукшской свиты и терригенно-осадочный комплекс сурлампинской свиты (в объеме гимольской серии). В южной синклинирной части Костомукшской структуры развиты только породы контоксской серии, которые прорываются гранитоидами обрамления, дайками габбро, штоками и дайками внутрискрутурных диоритов, гранодиоритов, андезито-дацитов, риодацитов, дайками раннепротерозойских габбро-долеритов и рифейских лампроитов. Терригенно-осадочные толщи и железистые кварциты гимольской серии прорываются субогласными телами геллефлинт-раутаойского комплекса и К-гранитами.

Контокская серия. Ультрамафит-мафитовая толща представлена коматиитами и толеитовыми базальтами. В ее основании залегают метаморфизованные до амфиболитов массивные, миндалекаменные или подушечные metabазальты. В бортах структуры они имеют крутые падения к центру. Ультрамафитовая часть разреза сложена измененными (серпентинизированными и тремолитизированными) коматиитами и их туфами, переслаиваемыми с высокомагнезиальными коматиитовыми metabазальтами. Ультрамафиты выполняют трохообразную структуру в центральной части площади. По наиболее глубокой скважине 16П их мощность составляет более 600 м. Среди них насчитывается до 16 блокированных потоков, содержащих корки взламывания, полигональную отдельность, структуры спинифекс. Низы трога не подсечены. В метакоматиитах участка Берендей выявлена бедная сульфидная медно-никелевая минерализация, связанная с метаморфогенно-метасоматическими преобразованиями пород. Ультрамафиты перекрываются высокомагнезиальными metabазальтами, которые в центральной части Южно-Костомукшского синклинория представлены вариолитовыми разностями. Центральные части вариолей и более крупных шаров сложены андезит-дацитовым материалом, что предполагает несколько вариантов их образования: либо ликвацию высокомагнезиальной магмы на два несмешивающихся расплава, либо смешение двух магм, поступающих из разных источников, что еще более подчеркивает сложность эволюции мантийного магматизма в этой части структуры.

Вулканыты и вулканогенно-осадочные образования шурловаарской свиты прослеживаются полосой северо-северо-восточного простирания преимущественно вдоль западной границы Костомукшской структуры, имеющей протяженность более 20 км при ширине от 300 до 1000 м (вместе с полосчатым железистым комплексом). Их возраст 2795–2801 млн. лет (Лобач-Жученко и др., 2000; Samsonov et al., 1995).

Кислые вулканыты представлены мелкозернистыми афировыми или порфиоровыми породами, часто с флюидальной текстурой. Вкрапленники порфиоровых разновидностей сложены плагиоклазом, калиевым полевым шпатом и кварцем, размером 0.3–0.5 см. По составу это биотит-мусковит-микроклин-кварц-плагиоклазовые породы, иногда с амфиболом, называемые лептитами, порфиороидами, гнейсами или сланцами. В разрезе шурловаарской свиты доминируют агломератовые, тонко- и грубополосчатые слоистые туфы. В юго-западной части структуры более широко развиты пологозалегающие полосчатые туфы, с большим содержанием туфогенно-осадочного меланократового материала. У оз. Заячье (фиг. 2) расположен экструзивный центр с интенсивной гидротермальной переработкой кислых вулканытов (эпидотизация и окварцевание) и кварцевыми штокверками с сульфидной минерализацией.

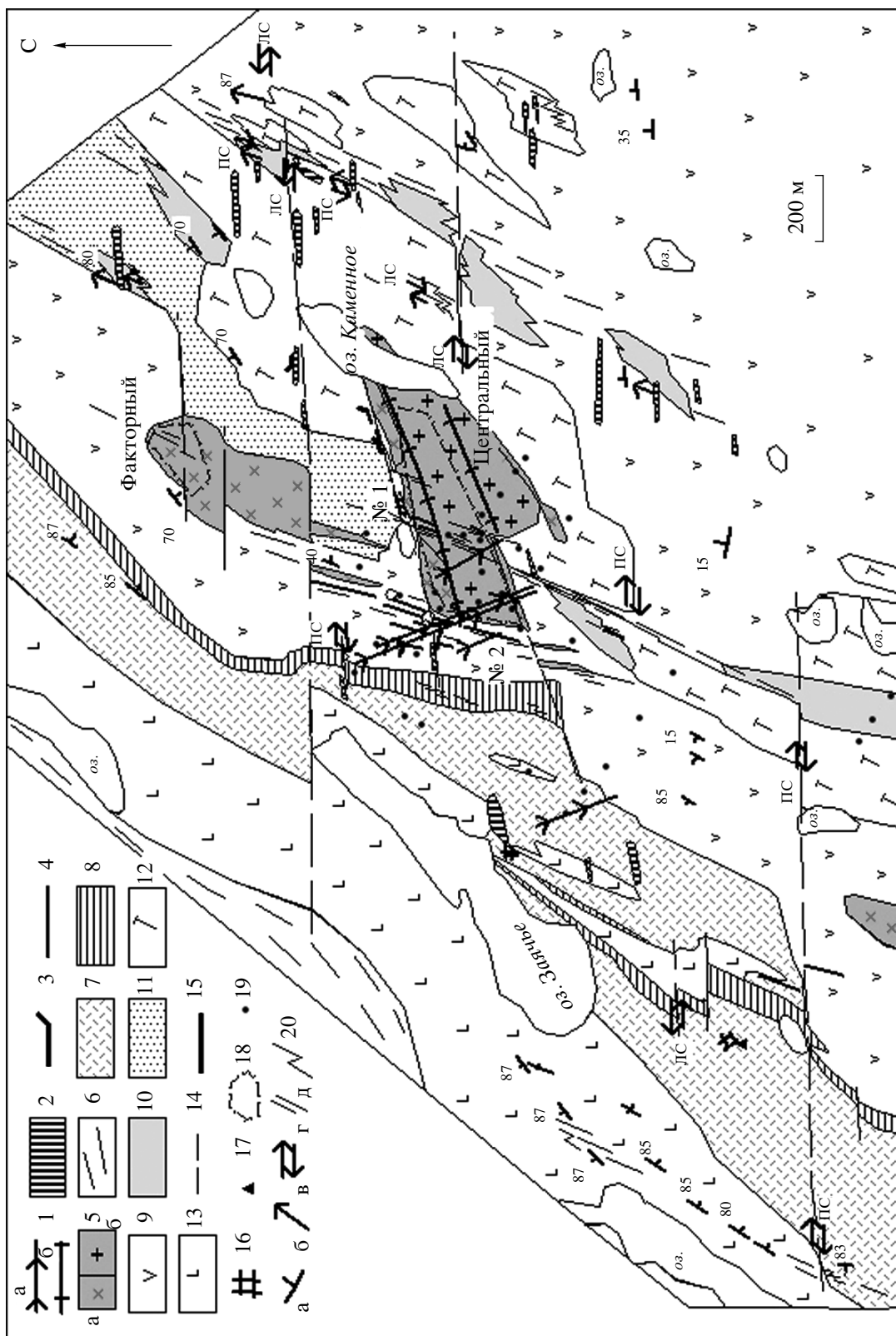
Вулканыты и субвулканические тела дацитов и риодацитов шурловаарской свиты характеризуются (табл. 2) средним содержанием SiO_2 – 69.63%, суммой щелочей – 7.8%, $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$, высокими концентрациями Ba, Sr, Zr, Rb, Li, повышенными глиноземистостью (al) и железистостью (mg). Этим они и отличаются от геллефлинт-раутаойского комплекса – афировых и микропорфиоровых натриевых дацитов-риодацитов костомукшского карьера (табл. 2/2) и комагматичных им даек фельзитов (табл. 2/3), прорывающих коматииты севернее штока Центрального и сопровождающихся турмалинизацией (Кулешевич, 2002). На петрохимических диаграммах породы шурловаарской свиты занимают поле дацитов и риодацитов повышенной щелочности.

Полосчатая железистая формация, залегающая восточнее вулканытов шурловаарской свиты (фиг. 1), представлена преимущественно туфогенно-осадочными и железисто-кремнистыми образованиями. Она включает горизонты магнетитовых кварцитов, амфибол-биотитовых и углеродсодержащих сланцев и бедных вкрапленно-прожилковых колчеданных руд, которые сопровождаются кварцсерицитовыми гидротермальными изменениями. Мощность отдельных сульфидных горизонтов составляет 0.3–1.5 м с содержанием сульфидов до 30–50%. Колчеданная минерализация содержит пирротин, редко пирит и халькопирит. Сульфидная рудная минерализация бывает совмещена или близко расположена с небогатыми вкрапленно-полосчатыми магнетитовыми горизонтами. Оруденение, как предполагается, связано с гидротермальными процессами, сопровождающими кислый вулканизм шурловаарской свиты. На отдельных участках с сульфидной минерализацией связан повышенный фон золота и его аномальные концентрации. В бортовых частях структуры в зонах влияния гранитов обрамления происходит перекристаллизация и переотложение колчеданного оруденения с образова-

Таблица 2. Химический состав средних и кислых магматических пород Южно-Костомукшской структуры

Комо- ненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SiO ₂ (%)	69.63	68.99	69.26	61.66	57.92	60.56	66.20	61.29	67.34	75.38	62.60	57.88	73.44	72.83
TiO ₂	0.30	0.10	0.44	0.50	0.59	0.49	0.35	0.44	0.33	0.10	0.63	0.77	0.19	0.20
Al ₂ O ₃	13.73	17.43	16.37	16.19	16.53	14.97	15.80	16.00	14.81	13.18	15.00	16.47	13.67	13.79
Fe ₂ O ₃	0.89	0.22	0.16	1.42	2.0	1.66	1.00	1.60	1.04	0.40	4.95**	7.13**	0.96	0.75
FeO	2.07	0.83	1.41	3.45	4.49	4.08	3.05	4.02	1.94	1.46			0.65	1.22
MnO	0.07	0.02	0.018	0.075	0.102	0.095	0.043	0.07	0.06	0.02			0.022	0.035
MgO	1.63	0.78	1.77	3.14	3.58	3.85	2.47	3.10	1.90	0.74	2.35	3.79	0.47	0.47
CaO	2.41	2.90	0.58	4.71	5.45	4.93	3.10	4.26	3.06	1.59	6.50	4.99	0.98	1.10
Na ₂ O	1.67	6.76	8.42	4.29	3.99	3.84	5.80	7.09	4.24	6.00	3.07	7.83	3.53	3.69
K ₂ O	6.13	0.89	0.27	2.2	2.42	2.58	0.90	0.62	2.98	0.46	1.20	0.19	5.14	4.77
P ₂ O ₅	0.12	0.05	0.08	0.28	0.33	0.25	0.19	0.23	0.16	0.06		0.28	0.10	0.15
H ₂ O	0.19	0.07	0.06	0.12	0.11	0.08	0.10	0.16	0.06	0.11			0.11	0.12
П.п.п	1.00	0.75	0.76	1.84	2.17	2.09	0.70	1.00	1.63	0.42	1.11	0.56	0.60	0.68
Σ	99.79	99.79	99.55	99.88	99.68	99.56	99.70	99.88	99.62	99.91	97.41	99.87	99.82	99.81
Li *(г/т)	16	16	8	27	41	40	22	9	19	6			33	38
Rb*	144	20	7	76	83	110	37	54	105	16			277	226
Cs*	4	4	3	5.6	5	10	4	4	4	5			5	8
Sr*	404	347	33	607	644	496	364	541	418	271			71	159
Ba*	459	262	145	1300	1066		845	658	930	160			707	675
Y*	4	2	5	13	11	15	7	13	8	5			8	5
Zr*	94	44	136	103	77	70	92	99	54	48			142	123
Nb*	6	2	10	3	2	3	6	7	4	7			13	10
Pb*	10	10	17	16	16	54	12	7	19	17			31	41
Th*	8	7	7	8	12	7	6	8	8	17			50	34
V	67	48	56	154	140	118	85	124	101	73			28	54
Cr	27	34	44	48	48	82	90	50	48	27			46	42
Ni	28	40	76	48	28	63	31	24	40	31			23	15
Co	20	16	20	24	24	31	10	15	16	16			1	1
Cu	8	16	36	48	28	40	32	24	24	32			8	
Zn	40	16	28	68	88	12	40	72	64	24			24	
mg	0.50	0.58	0.67	0.54	0.50	0.55	0.53	0.50	0.54	0.42	0.52	0.51	0.36	0.32
al	3.4	10	7.3	2.2	1.8	1.7	2.7	2.1	3.3	6	2.5	1.8	8.1	7.1
n	6	2	2	2	2	1	1	1	3	2	6	1	2	2

Примечание. Химические анализы и * – VRA выполнены в ИГ КНЦ РАН; ** – дано суммарное Fe₂O₃ (анализы Карельской ГЭ). 1 – кислые вулканы шурловаарской свиты. 2 – дациты и риодациты (геллефлинты) Костомукшского карьера. 3 – дайки фельзитов (риодациты) участка Таловойс. Таловойский комплекс диоритов-гранит-порфиров (4–12): 4 – кварцевые диориты 1 фазы внедрения, массив Факторный, 5–10 – массив Центральный: 5 – диориты и 6 – кварцевые диориты (1 фаза внедрения), 7 – микрогранодиориты, 8 – микродиориты, 9 – гранит-порфиры (2 фаза внедрения), 10 – аплиты. Участок Берендей: 11 – дайки дацитов, 12 – дайки андезитов повышенной щелочности. Ниемиярвинский комплекс калиевых гранитов: 13 – Ниемиярвинский массив, 14 – массив Восточный.



Фиг. 2. Схема геологического строения участка Таловейс.

1-3 – дайковый комплекс: 1 – лампроиты (а), щелочные пикриты (б), 2 – габбро (AR₂), 3 – натриевые риодациты; 4, 5 – комплекс внутрискрустных гранитоидов: 4 – дайки кварцевых диоритов, 5 – интрузивные тела диоритов, кварцевых диоритов (а) и гранит-порфиров (б); 6 – тоналиты (а) и гранит-порфиров (б); 7, 8 – шурловаарская свита: 7 – риодациты, 8 – кварц-биотитовые, биотит-амфиболовые сланцы и железистые кварциты; 9-12 – рувинваарская свита: 9 – метаморфизованные базальты (амфиболиты), 10 – метаморфизованные вариолитовые базальты (с шарами натриевых дацитов), 11 – коматитовые базальты, 12 – коматиты (вулканы и кумулятивные перидотиты); 13 – амфиболиты по базальтам ниемиярвской свиты; 14 – тектонические нарушения, сдвиги; 15 – золото-кварцевые жилы; 16 – кварцевые штокерки в шурловаарской свите; 17 – эругитивный центр; 18 – зона березитизации и тонко-прожилкового золотого-сульфидно-кварцевого оруденения интрузий Центральной и Факторной; 19 – скважины; 20 – элемент залегания, расщепления, рассланцевания (а), линии осевых плоскостей складок (б), сдвиги лево- и правосторонние (ЛС, ПС) (в), сланцеватость, связанная со сдвиговыми деформациями (г), складчатые деформации (д). № 1 и № 2 – сдвиговые зоны.

нием вкрапленно-прожилковой пирротиновой минерализации, в которой иногда присутствуют молибденит, халькопирит, висмутин, арсенипирит, шеелит и золото.

Гимольская серия. Вулканогенные и вулканогенно-осадочные толщи контоксской серии в пределах железорудного месторождения перекрываются осадочными породами гимольской серии, слагающими верхнюю часть разреза структуры. Осадочные образования гимольской серии расчленяются на три свиты (снизу вверх): суккозерскую, костомукшскую и сурлампинскую. Суккозерская свита представлена полимиктовыми конгломератами и гравелитами (ранее включалась в костомукшскую свиту). Костомукшская свита, содержащая основные запасы железных руд, сложена исключительно осадочными породами: песчано-глинистыми осадками флишевого типа, преобразованными в процессе метаморфизма в слюдистые ритмично-слоистые сланцы, углеродсодержащими глинистыми и песчано-глинистыми осадками, представленными филлитовидными слюдистыми сланцами с сульфидной минерализацией. Наибольшее распространение среди пород свиты имеют хемогенные осадки, превращенные в железистые кварциты. В объеме костомукшской свиты выделяют две подсвиты – нижнекостомукшскую, существенно железорудную, и верхнекостомукшскую – полосчатую толщу с равным соотношением железорудных и сланцевых пластов.

Нижнекостомукшская подсвита – это существенно железорудная толща, представленная биотит-магнетитовыми, грюнерит-, рибекит-, роговообманково-биотит-магнетитовыми, магнетит-роговообманково-биотитовыми, грюнерит-биотитовыми, грюнерит-роговообманково-биотитовыми и биотитовыми кварцитами с прослоями углеродсодержащих и ритмично-слоистых биотитовых сланцев. Верхняя граница подсвиты соответствует кровле наиболее мощного и наиболее богатого пласта железистых кварцитов, прослеживающегося на всем месторождении. Наиболее мощные разрезы нижнекостомукшской подсвиты наблюдаются в центральной части западного крыла Костомукшского месторождения. Железорудные тела частично выработаны. К грюнеритовым кварцитам и углеродистым сланцам, входящим в состав свиты, приурочена колчеданная минерализация со средним содержанием сульфидов – 10%.

Верхнекостомукшская подсвита представлена полосчатой толщей переслаивания. Она состоит из биотит-магнетитовых, грюнерит- или роговообманково-магнетитовых рудных пластов, магнетит-роговообманково-грюнеритовых, грюнерит-роговообманково-биотитовых кварцитов, ритмично-слоистых слюдистых и углеродсодержащих сланцев с высокоглиноземистыми минералами (гранатом, ставролитом). Наиболее полные разрезы этой сви-

ты выявлены на Костомукшском месторождении в его центральной части. Стратиграфически выше костомукшской свиты и согласно на ней залегают метаморфизованные осадочные толщи сурлампинской свиты, завершающие разрез гимольской серии. Наиболее мощные разрезы свиты наблюдаются в восточной части центрального участка Костомукшского месторождения. Свита сложена метаморфизованными ритмично-слоистыми сланцами флишевого типа с гранатом, ставролитом и андалузитом и отдельными редкими маломощными прослоями магнетитсодержащих кварцитов и кварц-биотитовых сланцев, обогащенных магнетитом.

СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ПОЗИЦИЯ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ

В региональном плане Костомукшская структура находится в северо-западной части Карельского кратона и имеет синклиналное строение (фиг. 1). Для западной полосы характерен линейный складчатый структурный план, для восточной (площади железорудного месторождения) – ареальный, с моноклинальным падением пород к востоку и северо-востоку. Устанавливается юго-западное надвигание восточного разреза гимольской серии на западную полосу (контоксскую часть разреза) и формирование их в абсолютно различных геодинамических обстановках. Геологическое и структурное строение площади обычно коррелируется с поясом Кухмо и Хатту на финской территории. Однако эти зеленокаменные пояса, в отличие от Костомукшской структуры, первоначально развивались как окраинно-континентальные.

Геодинамическая эволюция Костомукшской структуры включает две стадии развития – аккреционную и коллизионно-орогенную (Кожевников, 2000). На ранней аккреционной стадии в обстановках океанического плато, островной дуги и окраинно-континентального бассейна сформировались вулканы и осадки различных частей разреза этой структуры. На коллизионно-орогенной стадии произошла трансформация разреза, его латеральное сжатие и совмещение толщ, отложившихся в разных обстановках. Сложноскладчатое строение Костомукшской структуры связано с неоднократно проявленными здесь деформациями, право- и левосторонними смещениями по зонам субмеридиональных сдвиговых деформаций и субширотным разломам, а также ротационными движениями (Кожевников, 1982, 2000). Метаморфические преобразования многостадийны: ранние региональные преобразования отвечали условиям амфиболитовой фации умеренных и низких давлений, преобразования коллизионного этапа в сдвиговых зонах – амфиболитовой фации повышенных давлений (Горьковец и др., 1991; Володичев и др., 2002).

В позднем архее ранний этап деформаций (Д1) орогенной стадии сопровождался образованием купольных микроклин-плагиоклазовых гранитов и мигматитов в обрамлении, смятием вмещающих толщ и формированием общего синклиального плана структуры, метаморфизм достигал эпидот-амфиболитовой–амфиболитовой фаций (табл. 1). Со следующим этапом (Д2) связано поперечное сдавливание и формирование субмеридиональных–северо-северо-восточных сдвиговых зон и субширотных разломов, сопровождавшихся приоткрыванием полостей и внедрением по этим зонам даек габбро, андезитов, дацитов и таловейского комплекса диоритов–гранит-порфиоров. На более поздней стадии в разрез костомукшской свиты внедряются тела риодацитов (геллефлинт) раутаюского комплекса. Изменения в ореоле внутрискрутурных интрузивных тел гранитоидов и даек не превышают эпидот-амфиболитовой фации.

Деформации этапа Д3 происходили в условиях усиливающегося сжатия и локального растяжения, сопровождались внедрением калиевых гранитов (Шурловаарского, Восточного и Ниемиярвинского массивов) и изоклиальной складчатостью в их ореоле. На заключительной стадии по северо-северо-восточным зонам сдвиговых деформаций формируются изоклиальные складки в пластичных средах, и затем возникают смещения в хрупких средах, например, такие как смещения с аз. пр. 20° во внутрискрутурных гранитах участка Таловейс. Для субширотных зон присущи преимущественно жесткие сдвиги и блоковые смещения. Для зон пластичных складчатых деформаций характерен метаморфизм, достигающий амфиболитовой фации, и интенсивные метасоматические изменения (микроклинизация, образование скарноидов, гранат-роговообманковых или гранат-биотитовых метасоматитов), в зонах хрупких сдвиговых деформаций, сопровождающихся падением давления – формирование кварцевых жил и золотого оруденения (Кулешевич и др., 2005).

В протерозое происходит активизация субширотных и северо-северо-западных глубинных разломов и внедрение даек габбро-долеритов и рифейских лампроитов.

Накопление золотой минерализации в Костомукшской структуре фиксируется на разных временных отрезках ее геологической истории (табл. 1, Кулешевич, 2002₁; 2004): 1) в связи с гидротермальными процессами и отложением сульфидной (колчеданной) минерализации, ассоциирующими с кислыми вулканитами островодужной системы шурловаарской свиты; 2) с гидротермальными процессами, сопровождающими внедрение диорит-гранит-порфирового таловейского комплекса и формированием площадного штокверка и линейных северо-северо-восточных сдвиговых зон с малосульфидными золото-кварцевыми жилами;

3) в зонах сдвиговых деформаций и метасоматоза субмеридионального простирания на границе с гранитными массивами Восточным и Ниемиярвинским; 4) в связи с гидротермальными процессами и отложением сульфидной (колчеданной) минерализации, в полосчатой железистой формации гимольской серии, и 5) в зонах сдвиговых деформаций субширотного простирания, метасоматоза и отложения арсенопиритовой минерализации вблизи контактов геллефлинт и разнородных толщ в пределах Костомукшского железорудного месторождения.

ИНТРУЗИВНЫЕ ГРАНИТОИДЫ, БЛИЗКИЕ ПО ВРЕМЕНИ ОБРАЗОВАНИЯ ЗОЛОТОМУ ОРУДЕНЕНИЮ

С таловейским комплексом диоритов, кварцевых диоритов, гранит-порфиоров связана главная стадия накопления золоторудной минерализации в Костомукшской структуре. Преобладающее большинство интрузивных тел комплекса установлено в южной ее части на участке Таловейс и южнее, в узлах пересечения северо-северо-восточных и субширотных сдвиговых зон, формирующихся в результате региональных движений.

Диориты и кварцевые диориты слагают массив Факторный, образуют сеть даек и тела первой фазы внедрения массива Центрального. Гранит-порфиры слагают только шток Центральный (фиг. 2). На основании геофизических данных к западу от относительно обнаженной центральной части массива Факторного предполагается существование более крупного нескрытого тела, возможно, представленного гранит-порфирами второй фазы, а также связь с массивом Центральным серией мало-мощных субмеридиональных тел кварцевых диоритов, вскрытых буровыми скважинами. Однако предполагаемый прогиб в кровле единого гранодиоритового массива в промежутке между интрузиями, по данным бурения на глубине до 291 м по скважине С-25, не установлен.

Диориты и кварцевые диориты – темно-серые меланократовые породы. Они слагают массив Факторный, дайки и неправильные тела, имеющие северо-северо-восточное простирание, и четко ограниченные дайки субширотного простирания, цементируют брекчированные вмещающие породы вблизи северного контакта штока Центрального. Локализация даек связана с упруго-пластичными сдвиговыми деформациями тех же простираний в смятых и метаморфизованных породах контоксской серии.

Массив Факторный представлен преимущественно кварцевыми диоритами, но в мало-мощной краевой зоне наблюдается постепенный переход от диоритов до кварцевых диоритов. Мощность диоритов колеблется от 1 до 15 м, мощность основного массива кварцевых диоритов достигает 300 м.

В апикальной части массива Факторного и в контактах даек первой фазы массива Центрального встречается множество разноориентированных ксенолитов вмещающих пород – тремолитовых сланцев и амфиболитов. Небольшие дайки, развитые на площади, обычно представлены кварцевыми диоритами, реже диоритами, микродиоритами, аплитами.

Кварцевые диориты – это мелко-среднезернистые породы с вкрапленниками плагиоклаза и роговой обманки и мелкозернистой основной массой. Они состоят из плагиоклаза (60–70%), биотита (10–20%), роговой обманки (5–10%), кварца (5–10%), содержат акцессорные (циркон, апатит) и вторичные минералы (эпидот, сфен), в зонах березитизации обычно развиты серицит и карбонат.

На участке Берендей скважинами подсечена серия сближенных даек микродиоритов и андезитодацитов, комагматичных породам рассматриваемого комплекса (Кулешевич и др., 2000). Кроме того, сближенные дайки и зоны гибридизации вокруг них прослеживаются на всем протяжении между месторождением Таловейс и участком Берендей, образуя полосу перспективную для нахождения золотого оруденения.

Кварц-плагиогранит-порфиры слагают массив Центральный участка Таловейс. Массив представляет собой небольшую (400 × 800 м) двухфазную интрузию, вытянутую в субширотном направлении, крутопадающую на юг (аз. 70°–80°) и погружающуюся в северо-восточном направлении. В контактах массива фиксируются облекающие деформации вмещающих пород, развитие даек микродиоритов, а в западном и северном экзоконтактах – наиболее сильные метасоматические изменения, выраженные в эпидотизации и биотитизации метабазальтов, в образовании сложно смятых карбонат-талк-хлорит-тремолитовых сланцев по коматиитам и сульфидизации пород. Изотопный возраст гранитов, определенный по циркону, равен 2720 ± 15 млн. лет (Samsonov *et al.*, 1999). К главным особенностям внутреннего строения массива относятся: 1) интенсивная метасоматическая проработка гранитоидов (березитизация); 2) широкое развитие кварцевых жил и прожилков различного масштаба; 3) пересечение массива дайками щелочно-ультраосновного состава. При этом можно выделить штокверк с разноориентированной системой трещин, линейную зону, к которой приурочена Главная кварцевая жила, и две основные системы разломов лопийского и рифейского возрастов, секущие массив.

Деформации, возникшие в позднелопийское время, ориентированы преимущественно в северо-восточном направлении (аз. пр. 20°) с падением на восток под углом 80° и проявлены как сдвиговые зоны расланцевания и брекчирования. В этих тектонизированных зонах зафиксированы наибо-

лее интенсивные метасоматические изменения гранитоидов.

Рифейские разломы разбивают массив на крупные блоки. Они образуют две четко ориентированные системы – северо-восточную, фиксируемую дайками щелочных пикритов, и северо-западную (аз. пр. 340°), установленную по развитию тел лампроитов.

Диориты и кварцевые диориты первой фазы в пределах массива Центрального образуют субширотные, субмеридиональные и северо-восточные тела, по составу идентичные породам штока Факторного.

Гранит-порфиры содержат включения ксенолитов вмещающих пород и кварцевых диоритов первой фазы и имеют интрузивные соотношения с кварцевыми диоритами. В контакте с вмещающими толщами в них иногда наблюдается маломощная (0.5–1 м) зона более мелкозернистых гранодиоритов. Это средне- и крупнозернистые породы с порфировидными структурами, образованными за счет крупных (до 5 мм) выделений голубого кварца и плагиоклаза на фоне мелкозернистой основной массы. Минеральный состав пород изменчив из-за колебания количества вкрапленников и микроклина. Количество плагиоклаза составляет 50–60%, кварца – 10–30%, биотита – 5–15%, микроклина – 5–10%, содержание альбита и микроклина возрастает в зонах изменений до 10–20%, серицита до 2–4%, эпидота до 1–5%, сфена до 1–2%. Среди акцессорных минералов отмечаются апатит, циркон, ортит, шеелит. Содержание апатита боченковидной формы иногда достигает 1.5%, количество P_2O_5 до 0.39%. В северной эродированной части интрузии гранит-порфиры содержат более крупные выделения вкрапленников голубого кварца (до 0.5–1 см) и плагиоклаза (до 3–5 см), здесь предполагается центральная часть подводющего канала.

На петрохимических диаграммах 1 фаза пород таловейского комплекса (массивов Факторного и Центрального) образует поля нормальных, с несколько повышенной щелочностью и магнезиальностью пород среднего состава. Состав пород ранней фазы (табл. 2/4–6) меняется. По опробованию, проведенному в пределах северного широтного тела массива Центрального, содержание SiO_2 составляет 57.92–60.56%, на участке Факторном – 61.66%. Сумма щелочей колеблется около 6.44%, $Na_2O > K_2O$, их отношение составляет 1.5–2, MgO – 3.14–3.85%, $al = 1.7–2.2$, $mg = 0.5–0.55$.

Для даек участка Берендей (табл. 2/11, 12) характерно содержание SiO_2 – 62.60%, Na_2O – 3.07%, K_2O – 1.2%, для отдельных тел установлены SiO_2 – 57.88% и повышенная натриевая щелочность (Na_2O – 7.83, K_2O – 0.19%). Высокая натриевая щелочность отмечена и для даек микродиоритов и микрогранодиоритов массива Центрального (табл. 2/7, 8).

Гранит-порфиры (табл. 2/9) содержат SiO_2 – 67.34%, сумму щелочей – 7.22%, имеют $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 1.4$, $\text{al} = 3.3$, $\text{mg} = 0.54$. От нормальных гранитов Ниемиярвинского и Восточного массивов в обрамлении структуры (табл. 2/13, 14) они отличаются по своему внешнему облику, минеральному составу и химизму тем, что имеют более высокие содержания MgO и суммарного железа, повышенную магнезиальность, $\text{mg} = 0.54$, $\text{al} = 3.3$, $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$, повышенные содержания CaO , TiO_2 , P_2O_5 , Sr , Ba и примесей V , Cr , Ni , Co , Cu , Zn , более низкие содержания Li , Rb . На классификационных диаграммах породы комплекса располагаются на границе гранодиоритов–гранитов. Граниты укладываются в один эволюционный ряд с диоритами и кварцевыми диоритами, попадают в поле метаалюминевых пород и в область внутривулканических образований, резко отличаясь от нормальных калиевых гранитов. Специфика их состава и геологическая позиция позволила отнести породы данного комплекса к санукитоидам (Lobach-Zhuchenko *et al.*, 2000; Samsonov *et al.*, 1999).

Наиболее поздней фазой, секущей кварцевые диориты и гранит-порфиры, являются *аплитовидные жилы*. Жилы имеют малую мощность от нескольких сантиметров до 1.2 м. Они более широко развиты в северной и южной частях массива Центрального и имеют простирание по системе доминирующих трещин с аз. пр. 340° и 85° , смещаются жесткими сдвигами по трещинам с аз. пр. 15 – 50° . Аплиты имеют бежевый цвет, тонкозернистую структуру, массивную текстуру с ветвистыми микрографическими срастаниями альбита и кварца. Содержат (табл. 2/10) SiO_2 – 75.38%, сумма щелочей – 6.46%, (Na_2O – 6.00%, K_2O – 0.46%).

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ

Породы диорит–гранит-порфирового таловейского комплекса сопровождаются гидротермальными изменениями в эндоконтактовом ореоле, непосредственно в апикальных частях интрузивных массивов и в зальбандах даек и представляют максимальный интерес как рудопроизводящие в отношении золото-сульфидного и золото-кварцевого оруденений.

Изменения во внешней зоне контактов кварцевых диоритов и гранит-порфиров, прорывающих метабаазальты и метакоматииты, отвечают условиям высокотемпературной пропилитизации. Они характеризуются интенсивной биотитизацией, образованием эпидота, актинолита, тремолита, карбоната и сопровождаются сульфидсодержащими карбонат-кварцевыми прожилками и пиритовой вкрапленностью в амфиболитах и тремолитовых сланцах. В метабаазальтах севернее массива Факторного, на более удаленных уровнях от него, развиты многочисленные малосульфидные и бессульфидные кварцевые жилы. Ксенолиты коматиитов в гранит-порфирах интрузии Центральной интен-

сивно оталькованы, карбонатизированы и биотитизированы.

Непосредственно сами кварцевые диориты и гранит-порфиры березитизированы и насыщены сетью разноориентированных маломощных (0.1–1 см) кварцевых прожилков с пиритовой вкрапленностью, образующих штокверк. Зоны березитизации в северной части массивов Факторного и Центрального характеризуются присутствием серицита, кварца, альбита, карбоната (до 5%) и мелкокристаллического пирита (до 5%), обогащенного золотом. В кварцевых диоритах интрузии Центральной отмечен арсенопирит, а в сульфидно-кварцевых прожилках его северо-восточной части – сфалерит, галенит, халькопирит. Массивы сопровождаются первичными и вторичными литохимическими ореолами.

Более интенсивные изменения устанавливаются в сдвиговых зонах северо-северо-восточного простирания. Во внешнем ореоле этих зон отмечается увеличение (до 20%) порфиробластического и интерстиционного микроклина (K_2O до 4.09%), развитие альбита по олигоклазу, серицита. В центральных частях наблюдается дробление как самих гранитоидов, так и вкрапленников кварца с образованием угловатых обломков. Раздробленные вкрапленники окружаются каймой новообразованного мелкозернистого кварца. Для внутренних частей зоны характерно интенсивное окварцевание – образование более крупной жилы или кварцевых прожилков, цементирующих гранитную брекчию, формирующих линейный штокверк и сопровождающихся золоторудной минерализацией.

Сдвиговая зона № 1 (фиг. 2) имеет аз. пр. 20° , в пределах массива она трассируется линзующейся Главной кварцевой жилой. Параллельно ей развита еще серия менее мощных зон расланцевания. Следует отметить, что подобные зоны северо-северо-восточного 15° – 20° левостороннего сдвига с пластическими деформациями во вмещающих породах и смещениями в габброидах зафиксированы в пределах всей площади участка. Околожилные изменения в зальбандах кварцевой жилы имеют мощность от 0.5 до 7 м и представлены кварцем, микроклином, альбитом, серицитом, хлоритом. К зальбандам жил тяготеют бедная сульфидная вкрапленность и видимое золото. Жила и рудная вкрапленность образуют рудное тело.

Исследования газо-жидких включений в кварце, образующемся при березитизации гранит-порфиров в штокверке и линейной жильной зоне, подтвердили представления о двухэтапном формировании месторождения Таловейс. На раннем этапе под влиянием гидротермальных растворов остывающих интрузивов образовалась золото-сульфидная минерализация, обеспечивающая высокий геохимический фон золота и его рудные концентрации. На позднем коллизионном этапе в зонах сдвиговых

деформаций северо-северо-восточного простирания (20°) сформировались более богатые золото-кварцевые жилы. При этом флюидный режим рудоотложения менялся от слабо кислотного (углекислотноводного) с участием сероводорода на раннем этапе до водно-углекислотного и водно-солевого от ранней к поздней стадии второго этапа гидротермального процесса. При формировании Главной кварцевой жилы установлен перепад давлений от 7 кбар до 7 бар и температур от 360–400 до 180–160°C (Кулешевич, Васокова, 2005). Температура отложения золота не превышала температур формирования березитов, что характерно для многих мезотермальных месторождений более молодых металлогенических эпох.

К югу от Главной кварцевой жилы в этой же сдвиговой зоне установлена золоторудная минерализация, связанная с серией небольших золото-сульфидсодержащих кварцевых прожилков в гранит-порфирах и с сульфидной вкрапленностью в биотитизированных карбонат-талк-тремолитовых сланцах, развивающихся по коматиитам. В южном обрамлении штока вмещающие коматиитовые metabазальты и коматииты трассируются еще одной кварцевой жилой того же простирания.

В западном эндоконтакте интрузии во вмещающих metabазальтах к сдвиговой зоне № 2 приурочена маломощная кварцевая жила, более известная как жила “Ушкова” по имени ее первооткрывателя, и наблюдается амфиболизация, биотитизация. В контакте жилы в основных породах развиты куммингтонит, тремолит, биотит. Гидротермальные изменения накладываются как на вмещающие породы, так и на диориты. Декрепитация кварца характеризуется тремя максимумами газовыделения при температуре 370, 240–260 и 190°C, что соответствует разгерметизации первичных и вторичных газо-жидких включений.

Обобщая изложенное, можно отметить, что околожилные изменения, накладываемые на гранитоиды интрузии Центральной по северо-северо-восточным сдвиговым зонам, носят более высокотемпературный характер, чем ранняя березитизация. Они сопровождаются резким увеличением калия, выраженном в интенсивной микроклинизации, появлением в зальбандах жил на контакте с вмещающими породами куммингтонита, биотита, тремолита.

В пределах подобных зон на участке Берендей наблюдалось скарнирование вмещающих коматиитовых базальтов и образование биотититов (Кулешевич и др., 2000). В зонах пластических деформаций в коматиитовых metabазальтах происходит образование узких изоклинальных складок и гранат-роговообманковых или крупнозернистых амфиболовых метасоматитов. Южнее оз. Заячьего в породах шурловаарской свиты к подобной зоне приурочены метасоматиты, содержащие диопсид,

эпидот, микроклин, скаполит. На юге структуры, на участке Ниемиярвинском, по породам шурловаарской свиты развита интенсивная микроклинизация, при этом содержание K_2O возрастает до 14%. Метасоматические изменения сдвиговых зон, сопровождающиеся высокотемпературным парагенезисом и кварцевыми жилами, фиксируются в Костомукшской структуре после заключительных складчатых деформаций и внедрения калиевых гранитов в пределах 2.7–2.65 млрд. лет (Кулешевич, 2002₁).

Последний тип изменений, наблюдаемый в гранитоидах комплекса Таловейс и носящий наложенный характер – это биотитизация, сопровождающая жилы щелочных пикритов и лампроитов рифейского возраста, секущие интрузию Центральную и вмещающие толщи на участке Берендей.

ЛОКАЛИЗАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ОРУДЕНЕНИЯ

Месторождение Таловейс

Наиболее изучено (табл. 3) небольшое месторождение Таловейс, связанное с интрузией гранит-порфиров.

На месторождении выделяют несколько минеральных типов золоторудной минерализации: 1) вкрапленная золото-пиритовая минерализация, ассоциирующая с березитизированными гранит-порфирами и сетью разноориентированных маломощных золото-сульфидно-кварцевых прожилков (кварцевым штокверком в апикальной части интрузии); 2) бедная прожилковая арсенопирит-кварцевая в кварцевых диоритах северо-западной части массива (малозолотоносная); 3) золото-сфалерит-пирротин-пиритовая кварцево-жильная вблизи северного контакта; 4) жильная золото-сульфидно-кварцевая и золото-кварцевая минерализация, связанная с линейным штокверком, в центральной сдвиговой зоне с аз. пр. 20° , разбивающей массив пополам. Среди них основными формационными и промышленными типами руд являются 1 и 4, два других встречаются редко.

Золото-сульфидный вкрапленный тип руд приурочен к зоне березитизации гранитоидов и охватывает всю северо-западную часть массива. Березитизация сопровождается пиритом, количество которого достигает 3–5%. Среднее содержание золота в березитизированных гранит-порфирах составляет 0.5 г/т, в целом обеспечивая его повышенный первичный геохимический фон и образуя отдельные точки с содержанием 1–5 г/т, иногда выше. Пирит фиксирует первичный ореол низкотемпературной гидротермальной проработки гранитоидов. К зонам березитизации приурочена также разноориентированная сеть маломощных (0.3–1 см) золото-сульфидно-кварцевых прожилков с содержанием золота 0.1–2 г/т, иногда до 10 г/т, сложенных белым кварцем с вкрапленным пиритом (до 10%) и

Таблица 3. Основные золоторудные объекты Костомукшской структуры

Месторождения (1), рудопроявления (2)	Рудно-формационный тип и содержание золота в рудах	Минеральный состав руд; окolorудные изменения	Рудовмещающие и рудопродуцирующие породы	Структурный контроль
Таловейс (1)	Гидротермальный, Au-S, Au-S-кварцевый, Au-кварцевый; (среднее 10.8–12.9 г/т Au, макс. до 60.3 г/т)	Золото, пирит, халькопирит, реже галенит, серебро, сфалерит, висмутотеллуриды; березитизация	Кварцевые диориты, гранит-порфиры	Штокверк и ССВ (20°) линейная зона развития кварцевых жил
Факторное (2)	Au-S, Au-S-кварцевый; (0.41–6.4 г/т Au)	Золото, пирит, халькопирит; березитизация	Диориты, кварцевые диориты	Штокверк и ССВ (20°) зоны рассланцевания
Берендей (2) и С-16П (2)	Au-S-карбонатно-кварцевый; (среднее 2.0–8.2 г/т Au, макс. 20 г/т)	Золото, пирротин, пирит, халькопирит, арсенопирит, шеелит, реже галенит, сфалерит, висмутотеллуриды; ранние изменения – скарноиды, поздние – лиственизация	Дайки андезитов, дацитов	ССВ (20°) зоны рассланцевания вдоль контактов даек
Восточное (2) и Кургелампи (2)	Au-S и Au-S-кварцевый в зональности с молибденовым; (Восточное: 0.55–2.54 г/т Au; Кургелампи: 2.04–4.7 г/т Au)	Золото, халькопирит, пирротин, арсенопирит, молибденит, реже галенит, сфалерит, висмутотеллуриды; ранние изменения – скарноиды, поздние – серицит-кварцевые	Амфиболиты и полосчатые толщи. Жилы аплитовидных гранитов вблизи контакта с гранитным массивом Восточным	ССВ (20°) зоны рассланцевания вдоль контактов жил
Ниemiaрвинское (2)	Au-содержащий колчеданный (0.9–1.8 г/т Au)	Золото, пирротин, халькопирит, магнетит, молибденит, реже галенит, сфалерит, висмутин; серицит-кварцевые	Полосчатая железистая формация (магнетитовые кварциты и колчеданные руды)	Субмеридиональные зоны рассланцевания
Рувинваарское (2)	Au-содержащий колчеданный (0.6–3 г/т Au)	Золото, пирротин, халькопирит, магнетит; хлорит-серицит-кварцевые	Полосчатая железистая формация (магнетитовые кварциты и колчеданные руды)	Субмеридиональные зоны рассланцевания
Южно-Костомукшское (2)	Au-S-кварцевый, арсенопиритовый (2–30 г/т Au)	Золото, арсенопирит, леллингит, пирротин, халькопирит, магнетит, реже галенит, сфалерит, сам. висмут, мальдонит, ауристибит; окolorудные изменения – турмалинизация, карбонат-слюдисто-кварцевые метасоматиты	Бiotит-кварцевые сланцы на контакте с геллефлинтами	Субширотные зоны рассланцевания

реже – карбонатом. Эти прожилки выполняют разноориентированные сколовые с аз. пр. 40° северо-восточные, 320° северо-западные и концентрические трещины, формируя штокверк. Данный тип оруденения может комплексно использоваться при кучном выщелачивании из породы с применением определенной методики.

Малосульфидная золото-кварцевая и золото-сульфидно-кварцевая прожилково-вкрапленная минерализация представляет собой главный тип руд месторождения. На предварительной стадии изучения, проведенного Карельской ГЭ, в сдвиговой зоне № 1 центральной части участка было выделено два рудных тела.

Первое рудное тело (фиг. 3) приурочено к Главной кварцевой жиле, имеющий северо-северо-восточное простирание (аз. пр. 20°) и крутое падение под углом 80° на юго-восток. Жила имеет сложную морфологию (включает две жилы – 2 и 5, сменяющие друг друга на глубине с незначительным смещением), длину 30.5 м, мощность 1–2 м. Рудная зона, ассоциирующая с этой жилой и околожильно-изменной породой, имеет мощность от 2.5 до 16 м в раздувах, в среднем – 10 м. Она прослежена на глубину 100 м и по падению и по простиранию на 100 м. Содержания золота, установленные в рудной зоне, составляют 0.2–10.4 г/т. В рудном теле, ассоциирующем непосредственно с Главной кварцевой жилой, среднее содержание золота равно 10.8–12.9 г/т, максимальное – 47–60.3 г/т. В рудах присутствуют примеси серебра – 1–3.4 г/т.

В южной части массива по простиранию сдвиговой зоны № 1 было выделено второе рудное тело, представленное серией прожилков, формирующих кварцевый штокверк. Его мощность варьирует от 2–3 до 20 м, а с глубиной увеличивается до 40 м. Тело было оконтурено по простиранию на 100 м и прослежено по падению на 80 м. Содержание золота варьирует от 1.6 до 4.26 г/т (среднее – 3.5 г/т на вскрытую мощность 6.6 м).

В западном эндоконтакте массива к сдвиговой зоне № 2 в обрамлении массива приурочена мало-мощная (0.15 м) жила “Ушкова”, имеющая длину в обнаженной части 15 м, аз. пр. 20°, падение юго-восточное 80°. Среднее содержание золота в ней составляет 38.1 г/т (максимально до 80 г/т), присутствуют примеси серебра и висмута (0.01%).

Основной минерал вкрапленных и прожилково-вкрапленных золото-сульфидных руд штокверка – золотосодержащий кубический пирит. Он образует недеформированные кристаллы размером 0.2–0.5 см, которые содержат включения нерудных минералов и золота. В пирите установлена примесь золота (среднее – 0.5 г/т). Самородное золото выделяется в виде изометричных зерен размером до 0.1 мм. Реже встречаются халькопирит, пирротин, сфалерит, галенит.

В золото-кварцевых малосульфидных жилах сдвиговых зон содержание сульфидов составляет около 1–3%. Они представлены мелкозернистым кубическим пиритом и выделениями неправильных форм, халькопиритом, реже – пирротин, галенитом, сфалеритом, висмутотеллуридами (цумоитом, сульфоцумоитом) и очень редко молибденитом, установленным по данным минералогического и микроскопического изучения, проведенного в ЦНИГРИ и ИГ КНЦ РАН. Встречаются шеелит, апатит, карбонаты, реже – турмалин. Содержание золота в пирите достигает 51 г/т. Золото имеет комковатую и дендритовидную формы. Размер золотинок колеблется от 5 мкм до 4 мм, преобладают зерна размером 0.1–0.45 мм. Пробность золота 860–970‰.

В химическом составе кубического пирита из гранит-порфиров и кварцевых жил установлено избыточное содержание серы до 2.1 ф. ед, а в ореоле интрузивного тела в пиритах из измененных метабазальтов – 1.90 ф. ед. и присутствие незначительных примесей Cu, Co, Ni (до 0.03–0.08%). Иногда встречаются сростания пирита с халькопиритом и золотом. По распределению Co в пирротине (0.03%) и халькопирите (0.035%) в сульфидах в северном ореоле интрузии в пропилитах температуру их образования можно оценить в 380°C. При окислении руд в кайме замещения сульфидов фиксируются оксиды и гидроксиды железа.

Рудопроявление Факторное

Рудопроявление Факторное связано с первой фазой таловейского комплекса – диоритами и кварцевыми диоритами – и расположено севернее участка Таловейс в 700 м. Оруденение локализуется в северной части интрузии Факторной, где выявлена серия золотосодержащих интервалов мощностью от 1 до 4.2 м, подсеченных скважинами. Кварцевые диориты березитизированы, пронизаны мало-мощными кварцевыми прожилками и содержат бедную сульфидную вкрапленность, представленную преимущественно пиритом в количестве 1–2%, единичными выделениями халькопирита и самородного золота. Размер встречающихся золотинок 0.05–0.15 мм. Содержание золота в рудах 0.41–6.4 г/т.

Рудопроявление Берендей

Рудопроявление Берендей расположено в 3.5 км южнее месторождения Таловейс. Предполагается (Кулешевич и др., 2000), что рудопроявление сформировано в две стадии. На ранней стадии произошло первичное накопление рассеянной золотой минерализации в зонах гибридизации и прокварцевания в ореоле даек андезитов, дацитов, микродиоритов, секущих метакоматииты и метабазальты. Изменения сопровождались бедной сульфидной вкрапленностью (1–3%), представленной преимущественно пирротин и единичными

выделениями халькопирита, сфалерита, с содержаниями золота 0.0031–0.48 г/т. На более поздней стадии в зонах расщепления и метасоматических преобразований (скарноидов и биотитизации) сформировалось более богатое прожилковое оруденение, секущее вмещающие породы и дайки. Прожилковое золото-сульфидно-карбонат-кварцевое оруденение характеризуется количеством сульфидов 1–5% (реже до 10%). Мощность прожилков 0.1–0.5 см, реже до 5 см, их доминирующее простирание совпадает с направлением тектонической зоны. Рудная минерализация представлена самородным золотом, пирротин, пиритом, халькопиритом, единичными выделениями сфалерита, арсенопирита, шеелита. Содержание шеелита в прожилках иногда достигает 1–3%, а W_2O_5 – 0.3%. Размер золотин составляет от 1–10 мкм (С-10) до 0.05–0.2 мм (С-6). Средние содержания золота по двум рудным залежам, выделенным В.Н. Фурманом при опробовании участка Берендей, составляют 2–8.2 г/т, максимальные – до 20 г/т.

Рудопроявления Восточное и Кургелампи

В юго-восточной части структуры к полосчатой толще приурочены небольшие проявления золото-сульфидно-кварцевых прожилковых руд Восточное и Кургелампи, расположенные в зоне интенсивного смятия на контакте с гранитным массивом Восточным. Участок Кургелампи расположен в зоне тектонического контакта железорудной толщи, тремолититов по коматиитам, амфиболитов, прорванных жильными телами гранит-аплитов мощностью до 3 м. Они сопровождаются кварцевыми жилами и прожилками мощностью до 0.1–0.5 м, содержащими молибденитовую и золото-сульфидную минерализацию. Молибденит выделяется в форме мелко- и крупночешуйчатых сростаний, образуя маломощные зоны минерализации (0.1–1 м) в грейзенизированных аплитах и кварцевых жилах. Золото-сульфидная минерализация локализована во вмещающей толще и представлена пирритом, пирротин, халькопиритом, реже – сфалеритом, с общим количеством сульфидов до 1–2%. В золото-сульфидных рудах установлены содержания Au от 0.02–0.55 до 1.12–2.54 г/т, Ag 0.5 г/т. Содержания Mo колеблются от 0.0006 до 0.07%.

На рудопроявлении Восточном вмещающие биотит-амфиболовые и биотит-альбит-кварцевые сланцы прорваны жилами гранит-аплитов мощностью от 1–2 до 20 м в раздувах и окварцованы. Кварц образует желваки, линзы, прожилки и жилы мощностью до 1.2 м. Около жил наблюдается грейзенизация: развит мусковит, микроклин, биотит. Сульфидная минерализация (1–5%) представлена молибденитом, арсенопиритом, пирритом, пирротин, халькопиритом, сфалеритом, единичными выделениями висмута, самородного висмута и галенита. В рудах установлено Au до 2.04–4.7 г/т и Ag от

0.1 до 15 г/т. В протоочках в тех же интервалах опробования выявлено до 200–500 знаков золота. Содержание Mo колеблется от 0.0001–0.002 до 0.03%, Bi до 0.03%, W – 0.001–0.05%, Pb, Zn до 0.05–0.1%. Геохимические ореолы Pb, Zn, Ag, Au совпадают и являются надрудными относительно Mo.

Южно-Костомукшское рудопроявление

Золото в биотит-кварцевых сланцах и железистых кварцитах Южно-Костомукшского железорудного месторождения было обнаружено в зонах смятия и расщепления на контакте с геллефлинтами в ассоциации с арсенопиритовой минерализацией в количестве 2–30 г/т (данные КГЭ, ИГ КНЦ). Рудная минерализация образует послойные или косо секущие сланцеватость прожилково-вкрапленные выделения, сопровождается интенсивным окварцеванием, турмалином, мусковитом, апатитом, перекристаллизацией биотита, а также отлагается в кварцевых гнездах, цементирующих амфибол-гранатовые метасоматиты, и в секущих прожилках. Руды содержат арсенопирит (5–35%), пирротин (5–20%), халькопирит (1–2%), леллингит (1%). Арсенопирит выделяется первым, он характеризуется присутствием примесей Co и Cu до 0.04–0.08%, Ni до 0.41% и содержанием As в количестве 34.29–35.13 ат. %. Леллингит образуется близко одновременно, встречается в самостоятельных мелких кристаллах и в арсенопирите. Содержит Ni до 3.82% и S 2.81%. Пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит цементируют трещинки в арсенидах, затем образуются более редкие минералы (самородный висмут, мальдонит, ауристобит), встречающиеся в единичных зернах. Золото выделяется в форме пластинок и зерен размером 0.08–0.2 мм в виде включений в микротрещинках в арсенопирите. По содержанию Ag (3.74–15.31%) и Hg (до 0.99–2.08%) относится к ртутистому электриту. Начальная температура образования руд этого типа по арсенопиритовому геотермометру оценивается в 440–510°C. Конечная температура опускалась ниже 300°C и до температуры образования колломорфного пирита в прожилках при окислении руд. Рудообразующие флюиды эволюционировали от хлоридных водно-углекислотных до существенно водных (Прокофьев и др., 2005).

Золотосодержащие колчеданные руды Западного Рувинварского и Ниемиярвинского

Рудопроявления Западного Рувинварского и Ниемиярвинского расположены в западном борту Костомукшской структуры в северной и южной ее части в шурловаарской свите. Золоторудная минерализация ассоциирует с метаморфизованными горизонтами послойно-вкрапленных колчеданных руд, переслаивающихся с магнетитовыми кварцитами. Околорудные изменения представлены

хлорит-кварц-серицитовыми метасоматитами. Руды содержат пирротин (до 20–40%), магнетит (до 10–30%), незначительное количество пирита, халькопирита. Золоторудная минерализация установлена в зонах прокварцевания колчеданов участка Западная Рувинваара и в полосчатых рудах проявления Ниemiaрвинское 5. Содержание золота на рудопроявлении Западное Рувинваарское (С-422) составляет 0.6–3 г/т, на участке Ниemiaрвинском 5 – 0.9–1.8 г/т Au. В рудах участка Ниemiaрвинского, находящегося в зоне влияния гранитного массива, встречаются также единичные выделения молибденита и висмутита.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существует стадийность в накоплении золота от бедных и рассеянных концентраций в зонах гидротермальной проработки и сульфидизации в полосчатой железистой формации, ассоциирующей с кислыми вулканитами шурловаарской свиты (2795–2801 млн. лет), до вкрапленной и штокверковой минерализации в березитизированных породах комплекса диоритов–гранит–порфиоров и наиболее продуктивных золото-кварцевых рудных тел в сдвиговых зонах северо-северо-восточного простирания в пределах полей развития диоритов–гранит–порфиоров и золото-сульфидных, в том числе арсенопиритовых, в субширотных и субмеридиональных зонах расщепления метасоматоза в различных породах.

Таловейский комплекс диоритов–гранит–порфиоров (2720 млн. лет) и сопровождающих его даек может рассматриваться как рудопроизводящий. Он образовался после главной фазы складчатости и приурочен к узлам пересечения субширотных и северо-северо-восточных сдвигов. Комплекс сопровождается штокверковой золото-сульфидной минерализацией. Наиболее богатые золото-кварцевые рудные тела тяготеют к зонам хрупких деформаций (аз. пр. северо-северо-восток 20°) в гранит–порфирах и сопровождаются метасоматическими изменениями, протекающими в режиме повышенного химического потенциала калия. В региональном плане эти изменения происходят после внедрения калиевых гранитов (2700 млн. лет). Образование Главной золотосодержащей кварцевой жилы сопровождалось резким падением давления и температуры от 360–400 до 180–160°С. По данным Rb-Sr-датирования слюды и полевых шпатов, самые поздние изменения в зонах околожильного метасоматоза происходили около 1.7 млрд. лет назад (Ларионова и др., 2004). Они привели к перекристаллизации К-минералов. Для руд золото-кварцевого формационного типа Главной жилы месторождения Таловейс характерно содержание золота 10.8–12.9 г/т.

К зонам субмеридиональных и субширотных сдвиговых деформаций вблизи гранитов обрам-

ления Восточного массива и в карьере Южно-Костомукшского железорудного месторождения приурочена золото-сульфидно-кварцевая минерализация.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Володичев О.И., Кузенко Т.И., Козлов С.С.* К структурно-метаморфическому изучению метавулканитов контоксской серии Костомукшской структуры // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск, 2002. Вып. 5. С. 15–26.
- Горьковец В.Я., Раевская М.Б., Белоусов Е.Ф., Инина К.А.* Геология и металлогения Костомукшского железорудного месторождения. Петрозаводск: Карелия, 1981.
- Горьковец В.Я., Раевская М.Б., Володичев О.И., Голованова Л.С.* Геология и метаморфизм железисто-кремнистых формаций Карелии. Л.: Наука, 1991.
- Кулешевич Л.В.* Этапы формирования золотого оруденения в Костомукшской структуре // Тез. докл. науч. конф., посвященной 10-летию РФФИ “Карелия и РФФИ”. Петрозаводск, 2002₁. С. 64.
- Кулешевич Л.В.* Кислый магматизм и золотое оруденение Костомукшской структуры // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск, 2002₂. Вып. 5. С. 59–72.
- Кулешевич Л.В.* Эволюция эндогенных режимов и стадийность золотого рудообразования в Костомукшской структуре // Докл. РАН. 2004. Т. 396. № 6. С. 808–812.
- Кулешевич Л.В., Васюкова О.В.* Условия формирования золоторудного месторождения Таловейс в докембрии Карелии // Докл. РАН. 2005. Т. 403. № 6. С. 848–851.
- Кулешевич Л.В., Васюкова О.В., Фурман В.Н.* Минералогия и условия формирования золоторудных проявлений Костомукшской структуры по данным газожидких включений // Зап. ВМО. 2005. № 5. С. 19–32.
- Кулешевич Л.В., Фурман В.Н., Коротаева Н.Н.* Золоторудное проявление Берендей (Южно-Костомукшское рудное поле) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск, 2000. Вып. 2. С. 50–59.
- Кожевников В.Н.* Условия формирования структурно-метаморфических парагенезисов в докембрийских комплексах. Л.: Наука, 1982.
- Кожевников В.Н.* Архейские зеленокаменные пояса Карельского кратона как аккреционные орогены. Петрозаводск, 2000.
- Ларионова Ю.О., Самсонов А.В., Носова А.А.* Rb-Sr-геохронология и изотопная геохимия рудовмещающих пород и околорудных метасоматитов мезотермально-го Au-месторождения Таловейс, западная Карелия // Докл. РАН. 2004. Т. 396. № 2. С. 239–243.
- Лобач-Жученко С.Б., Арестова Н.А., Милькевич Р.И. и др.* Стратиграфический разрез Костомукшской структуры Карелии (верхний архей), реконструированный на основе геохронологических, геохимических и изотопных данных // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2000. Т. 8. № 4. С. 3–10.
- Никитина Л.П., Лохов К.И., Левский Л.К. и др.* Протерозойский лампроитовый магматизм восточной ча-

- сти Балтийского щита // Вестн. СПбГУ. 1999. Сер. 7. Вып. 2. № 14. С. 11–24.
- Прокофьев В.Ю., Кулешевич Л.В., Волков А.В., Сидоров А.А.* Первые данные об условиях формирования рудообразующих флюидов проявлений золота в железорудном месторождении Костомукша (Карелия) // Докл. РАН. Т. 402. № 2. 2005. С. 233–238.
- Пухтель И.С., Самсонов А.В., Шипанский А.А., Фурман В.Н.* Аккреционная тектоника в Карельской гранит-зеленокаменной области. Костомукшский зеленокаменный пояс как пример террейновой структуры // Тез. докл. I Междунар. конф. “Корреляция геологических комплексов Фенноскандии”. СПб., 1996. С. 65–67.
- Чернов В.М.* Стратиграфия и условия накопления вулканогенных (лептитовых) железисто-кремнистых формаций Карелии. М.–Л., 1964.
- Lobach-Zhuchenko S.B., Chekulaev V.P., Ivanikov V.V. et al.* Late Archean high-Mg and subalkaline granitoids and lamprophyres as indicators of gold mineralization in Karelia (Baltic Shield), Russia // Ore-bearing granites of Russia and adjacent countries. M., 2000. P. 193–211.
- Puchtel I.S., Hofman A.W., Yochum K.P. et al.* The Kostomuksha greenstone belt, NW Baltic Shield: remnant of a late Archean oceanic plateau // Terra Nova. 1997. № 9. P. 87–90.
- Samsonov A.V., Puchtel I.S., Bibikova E.V., Zhuravlev D.Z.* Petrology and geochronology of felsic volcanic and plutonic rocks of the Kostomuksha greenstone belt, W. Karelia // Precambrian of Europe: Abstracts. St-Petersburg: IPPGG RAS, 1995. P. 95.
- Samsonov A.V., Puchtel I.S., Shchipansky A.A., Bibikova E.V.* 2.72 Ga sanukitoids of the Kostomuksha greenstone belt: petrology and tectonic application. Svekalapko WS. Lammi, Finland, 1999. P. 58.