

ТАЛОВЕЙС — ДОКЕМБРИЙСКОЕ ЗОЛОТОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ В КОСТОМУКШСКОЙ СТРУКТУРЕ (ЗАПАДНАЯ КАРЕЛИЯ)

Месторождение Таловейс (прогнозные ресурсы 12,2 т) расположено в южной части Костомукшской структуры и приурочено к диорит — гранит-порфировой интрузии (возраст 2720 млн лет). Оруденение представлено двумя основными формационными типами: золото-сульфидным (золото-пиритовым минеральным типом) в березитизированных гранитах и малосульфидным золото-кварцевым жильным в зонах рассланцевания, имеющих азимут простирания 20°, одинаковый с направлением сдвиговых зон в Костомукшской структуре. Содержание золота в рудах колеблется от 0,5 до 47 г/т. В пределах Южно-Костомукшской площади находятся рудопоявления Факторное и Берендей, также связанные с комплексом диоритов — гранит-порфиров, и Ниemiaрвинское, Восточное, Кургелампи, локализованные в зонах рассланцевания и метасоматического преобразования пород шурловаарской свиты. Делаются выводы о стадийности накопления золота, связи более значительных его концентраций с березитизированными диоритами — гранит-порфирами таловейского комплекса и системой кварцевых жил в зонах сдвиговых деформаций.

Taloveis, a small Precambrian gold ore deposit with expected resources of 12,2 t, is located in the southern Kostomuksha structure. The deposit is restricted to a 2720 Ma diorite-granite-porphyry intrusion. Mineralization is represented by two major formation types: a gold-sulphide (gold-pyrite mineral type) type in beresitized granites and a low-sulphide gold-quartz type confined to schistosity zones that have the same strike azimuth 20° as the direction of the shear zones in the Kostomuksha structure. The gold content of the ores varies from 0.5 to 47 g/t. Other ore occurrences located in the South Kostomuksha prospect are Faktornoe and Berendei, associated with the intrusion and a diorite-granite-porphyry dyke complex, and Niemiaarvi, Vostochnoye and Kurgelampi associated with the sulphide mineralization of felsic-intermediate rocks of the Shurlovaara suite. The authors conclude that gold accumulated in a stepwise manner, more significant concentrations are associated with the beresitized diorite-granite-porphyry complex Taloveis and quartz veins in shear zones.

Золоторудное месторождение Таловейс было выявлено в южной части Костомукшской структуры В. В. Ушковым [11] и разведывалось В. Н. Фурманом и геологами Карельской геологической экспедиции [12]. Месторождение приурочено к диоритам — гранит-порфирам штока Центрального (таловейский комплекс). Севернее от него обнаружено рудопоявление Факторное, южнее в 3,5 км — рудопоявление Берендей и еще ряд небольших проявлений (Ниemiaрвинское, Восточное, Кургелампи), входящих в Южно-Костомукшскую рудную площадь (рис. 1).

Геологическое строение южной части Костомукшской структуры. По принятой стратиграфической схеме в Костомукшской структуре выделяют (снизу-вверх) нюкозерскую гнейсовую толщу, контоксую серию, включающую ультрамафит-мафитовую ниemiaрвинскую и рувиноваарскую свиты, шурловаарскую свиту кислых осадочно-вулканогенных пород и залегающую выше гимольскую серию, представленную конгломератами, кварцбиотитовыми и углеродистыми сланцами, железисто-кремнистой толщей и магнетитовыми рудами

костомукшской свиты и терригенно-осадочным комплексом сурлампинской свиты [1, 2]. Относительно геодинамического развития структуры на основе геологических, геохронологических и геохимических исследований сложились мобилистские представления, в целом определяющие ее двухстадийное развитие в позднем архее [7, 8, 10, 13–15]: проторифтогенное (заложение и развитие позднеархейского рифта) и орогенное (на аккреционно-коллизии стадии).

Аккретированные супракустальные образования лопийского комплекса верхнего архея Костомукшской структуры включают следующие толщи: 1) ультрамафит-мафитовую (в объеме ниemiaрвинской и рувиноваарской свит); 2) кислые вулканы, туфы, железисто-кремнистые горизонты магнетитовых и сульфидных руд (в объеме шурловаарской свиты); 3) железисто-кремнистую толщу и руды костомукшской свиты и терригенно-осадочный комплекс сурлампинской свиты (в объеме гимольской серии) (рис. 1, табл. 1). Вмещающие породы прорываются разнообразными гранитоидами обрамления, телами и дайками

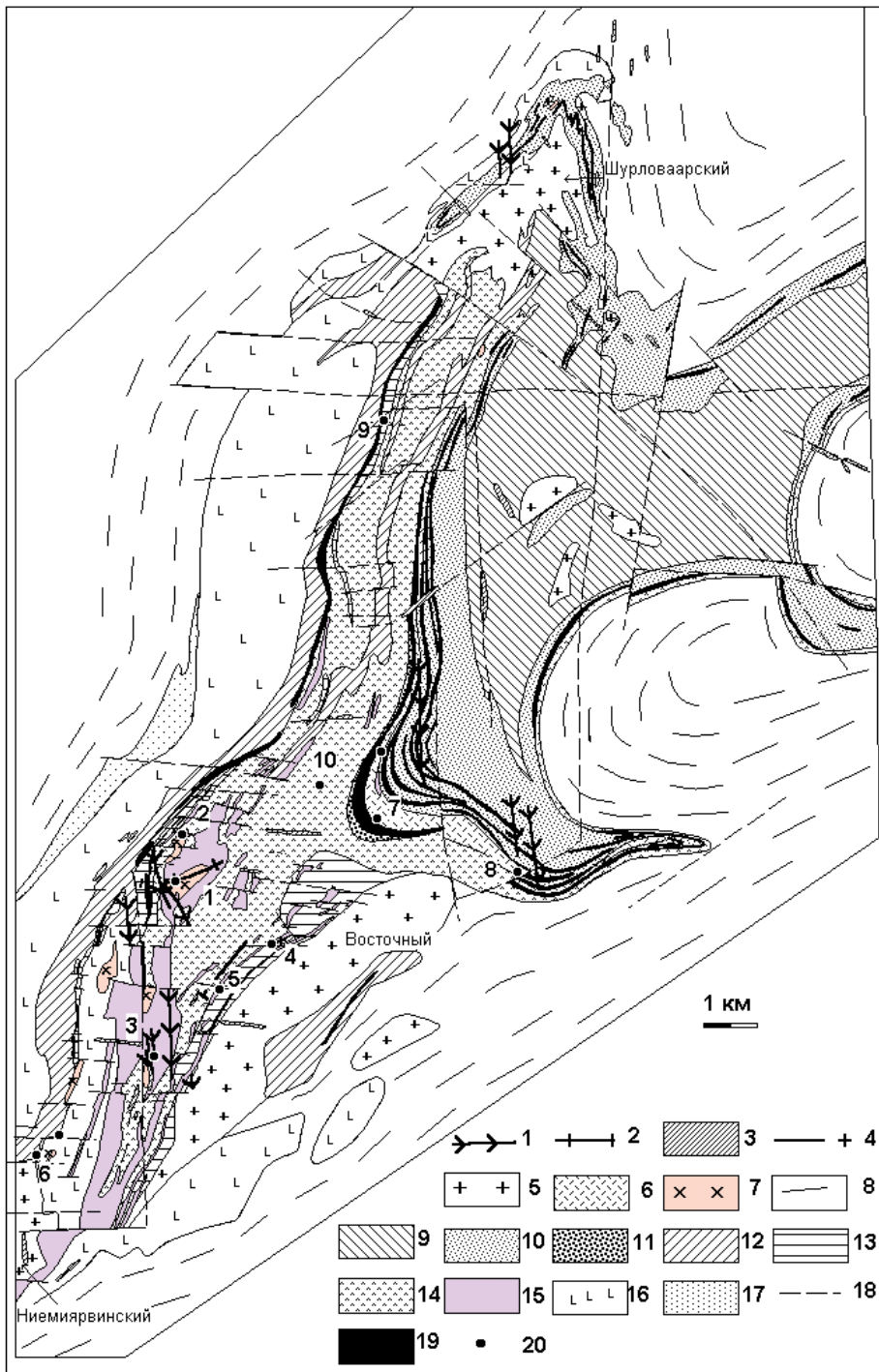


Рис. 1. Схема геологического строения Костомукшской структуры. Составлена на основе карт В. Я. Горьковца и В. Н. Фурмана:

1–2 — дайковый комплекс: 1 — лампроиты (R), 2 — лампрофиты. 3 — нерасчлененные габбро (AR_2-PR_1). 4 — дайки андезитов, дацитов (AR_2). 5–7 — позднеорогенные интрузивные образования (AR_2): 5 — калиевые граниты, 6 — риодациты (геллефлинты, плагиопорфиры), 7 — таловейский комплекс диоритов, кварцевых диоритов, гранит-порфиоров. 8 — тоналиты, гранито-гнейсы. 9–11 — гимальская серия (AR_2): 9 — сланцы сурлампинской свиты, 10 — кварц-биотитовые, амфибол-биотитовые сланцы и железистые кварциты, 11 — конгломераты. 12–16 — контокская серия (AR_2): шурловаарская свита: 12 — вулканогенные образования (риодациты, туфы), 13 — углерод-содержащие, кварц-биотитовые, амфибол-биотитовые сланцы, железистые кварциты, полосчатые амфиболиты; рувинваарская свита: 14 — базальты, вариолитовые базальты, 15 — коматииты, коматиитовые базальты; ниemiaрвинская свита: 16 — амфиболиты по базальтам. 17 — нюозерская толща, 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 Западно-Рувинваарское, 10 Рувинваара

СТАДИЙНОСТЬ ОСНОВНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ, ФИКСИРУЕМЫХ В КОСТОМУКШСКОЙ ЗЕЛЕНОКАМЕННОЙ СТРУКТУРЕ

Стратиграфическая шкала	Режим развития	Возраст, млн лет	Осадочно-вулканогенные образования	Возраст, млн лет	Интрузивные комплексы	Структурно-тектоническая перестройка, метаморфизм, метасоматоз	Металлогеническая специализация
Протерозой Средний рифей	Активизация глубинных разломов (рифтогенный)			1230–1241 (Sm-Nd, Rb-Sr),	Комплекс даек калиевых щелочных ультраосновных пород: лампроиты, щелочные пикриты	Активизация ССЗ, ВСВ разломов (калиевый метасоматоз)	Алмазы (перспективы)
Протерозой	Коллизионный			(1900–1800)		Свекофеннский этап деформаций: крупные блоковые перемещения	
Карелий: ятулий–сумий	Активизация глубинных разломов (рифтогенный)			?	Дайки габбро-долеритов (нерасчлененные)	ССЗ, СЗ и субширотные разломы, контролирующие развитие даек	Бедное вкрапленное титаномагнетитовое оруденение
Верхний архей Лопий	Позднеорогенный, коллизионный			2700±40 (U-Pb)	Комплекс шурловаарских и иемиярвинских калиевых гранитов (гранодиориты, граниты, лейкограниты, аплиты, пегматиты)	Поздний этап деформаций (Д5), смятие железистых кварцитов, сливные зоны 20° ССВ простираения, амфиболитовая фация (мигматизация, микроклинизация, кварцевые жилы, окварцевание, грейзенизация, биотитизация, скарноиды)	Молибденитовое оруденение, формирование в сливных зонах промышленных золото-кварцевых жил, золото-сульфидно-кварцевое и шеелит-золото-сульфидно-кварцевое оруденение
				2707±31 (U-Pb)	Раутаюкский комплекс: натриевые риодацит-порфиры (теллефлинты)	Связь с правосторонними сливными деформациями (Д4), сопровождаются низкотемпературными гидротермальными изменениями (окварцевание, турмалинизация)	Золото-сульфидная (пирротин-арсенопиритовая) минерализация
				2720±15 (U-Pb)	Таловейский комплекс: диориты, кварцевые диориты, гранит-порфиры, дайки андезитов, лацитов, микродиоритов. Дайки габбро	Формирование в узлах сливных зон ССВ и В простираений хрупко-пластичных деформаций (Д3). Приконтактные деформации и изменения (пропилиты, листвениты, биотитизация); березитизация гранитоидов	Золото-сульфидное и золото-сульфидно-кварцевое (Au, Ag, Bi, Pb, Zn, Cu) штокверковое оруденение

Шельфовые и окраинно-континентальные обстановки	?	Имольская серия (ks, sig свиты): конгломераты, железисто-кремнистая толща, углеродсодержащие, биотитовые, амфиболовые сланцы, тальк-хлорит-карбонатные сланцы	?	Массивы тоналитов, плагиогранитов в обрамлении структуры	Ранний этап складчато-разрывных деформаций (D2). Метаморфизм в условиях эпидиот-амфиболитовой – амфиболитовой фаций. Образование крупных массивов ТТГ в обрамлении структуры	Железистые кварциты, впоследствии метаморфизованные
Раннеорогенный	2801–2795±10 (U-Pb)	Шурловаарская свита: риодациты, туфогенно-осадочная толща, агломератовые туфы, железисто-кремнистые и углеродистые сланцы	2795±29 (U-Pb)	Дайки порфириров, экструзии	Ранние сдвиговые зоны СВ простирания внутри структуры (D1)	Колчеданы, магнетитовые руды, бедная золото-сульфидная минерализация
Мантийный пллом. Рифтогенный	2843+39 (Sm-Nd)	Контокская серия (nm, ds свиты). Ультрамафит-мафитовая толща: метаморфизованные толеитовые базальты, коматититы, коматититовые базальты, их туфы, кремнистые осадки. В верхних горизонтах шаровые и вариолитовые лавы коматититовых базальтов и натриевых дацитов		Интрузивные перидотиты и габбро	Заложение субмеридиональной троговой структуры	Никель (белая вкрапленная миллерит-пентландит-пирротиновая минерализация, метаморфогенная)

* Использованы результаты радиологического датирования С. Б. Лобач-Жученко (2000), А. В. Самсонова (1995, 1999), И. С. Пухтеля (1996, 1997), Л. П. Никитиной (1999).
D1 – D5 – этапы деформаций.

внутриструктурных диоритов — гранодиоритов, дайками андезито-дацитов, риодацитов, дайками раннепротерозойских габбро-долеритов и рифейских лампроитов.

Ультрамафит-мафитовая толща представлена коматиитами и толеитовыми базальтами. В основании толщи залегают метаморфизованные до амфиболитов массивные, миндалекаменные или подушечные метабазалты. В бортах структуры они имеют крутые падения к центру. Ультрамафиты выполняют трогообразную северо-северо-западную (рифтогенную) 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. Ультрамафитовая часть разреза сложена серпентинизированными и тремолитизированными коматиитами и их туфами, переслаивающимися с высокомагнезиальными коматиитовыми метабазалтами. С коматиитами связана бедная сульфидная медно-никелевая минерализация, выявленная на уч. Берендей. Ультрамафиты перекрываются высокомагнезиальными метабазалтами, которые в центре Южно-Костомукшской структуры представлены вариолитовыми разностями. Центральные части вариолей и более крупных шаров сложены андезит-дацитовым материалом, что предполагает их образование либо в результате ликвации высокомагнезиальной магмы на два не смешивающихся расплава и их одновременное поступление, либо смешение двух магм, поступающих из разных источников, что еще более подчеркивает сложность эволюции мантийного магматизма в этой части структуры.

Породы кислого состава шурловаарской свиты — вулканы и вулканогенно-осадочные образования шурловаарской свиты — прослеживаются полосой северо-северо-восточного простирания вдоль западной границы Костомукшской структуры, имеющей протяженность более 20 км при ширине от 300 до 1000 м (вместе с полосчатым железистым комплексом).

Кислые вулканы представлены мелкозернистыми афировыми или порфиоровыми породами, часто с флюидальной текстурой. Вкрапленники порфиоровых разновидностей сложены плагиоклазом и кварцем размером 0,3–0,5 см. По минеральному составу это биотит-мусковит-микроклин-кварц-плагиоклазовые породы, иногда с амфиболом, выделяемые как лептиты, порфиroidы, гнейсы или сланцы. В разрезе шурловаарской свиты отмечаются агломератовые, тонко- и грубополосчатые слоистые туфы. В южной части структуры более широко развиты пологозалегающие полосчатые туффиты с большим содержанием меланократового материала. У оз. Заячье расположен экструзивный центр (100 x 150 м) гидротермально переработанных риодацитов (эпидотизация и окварцевание) (рис. 2).

Вулканы и субвулканические тела дацитов и риодацитов свиты характеризуются средним со-

держанием SiO_2 69,63 %, суммой щелочей 7,8 %, $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$, высокими содержаниями Ba, Sr, Zr, Rb, Li, повышенной глиноземистостью и железистостью (табл. 2, 1). Этим они и отличаются от геллефлинта (афировых и микропорфиоровых натриевых дацитов — риодацитов) Костомукшского карьера (табл. 2, 2) и комагматичных им даек фельзитов (табл. 2, 3), прорывающих коматииты севернее массива Центрального и сопровождающихся турмалинизацией [3].

Полосчатая железистая формация шурловаарской свиты представлена преимущественно туфогенно-осадочными и железисто-кремнистыми образованиями. Она включает горизонты магнетитовых кварцитов, углеродсодержащих сланцев и вкрапленных колчеданных руд, которые сопровождаются кварц-серицитовыми гидротермальными изменениями. Колчеданные руды содержат пирротин, пирит, реже халькопирит. Мощность отдельных сульфидных горизонтов составляет 0,3–1,5 м с содержанием сульфидов до 30–50%. Для сульфидной минерализации предполагается связь с гидротермальным процессом, сопровождающим кислый вулканизм шурловаарской свиты. Колчеданные горизонты обычно сближены или переслаиваются с магнетитовыми. В юго-восточном борту структуры в зонах интенсивной складчатости и ореоле влияния гранитов Восточного и Ниемиярвинского массивов происходит перекристаллизация и переотложение руд: руды приобретают вкрапленно-прожилковый облик, в них доминирует пирротин, появляются молибденит, халькопирит, висмутин, арсенопирит и золото.

К колчеданным горизонтам приурочены повышенные концентрации золота (до 0,02–0,5 г/т). На северо-западе Костомукшской структуры в рудопроявлении Западное Рувинваарское содержание золота достигает 0,6–3 г/т, на Южно-Костомукшской площади на рудопроявлении Ниемиярвинском — 0,89–1,8 г/т, в юго-восточной части структуры, вблизи контакта гранитного массива Восточного, на рудопроявлениях Восточное и Кургелампи до 0,55–2,54 г/т.

Структурно-тектоническое строение и позиция золотого оруденения. Сложноскладчатое строение Костомукшской структуры связано с неоднократными проявленными здесь деформациями [6, 7]. Метаморфические преобразования многостадийны и достигали условий амфиболитовой фации [2].

В позднем архее ранний этап деформаций (Д1), связанный с северо-восточной сдвиговой зоной, сопровождался кислым магматизмом шурловаарской свиты (табл. 1). На втором, главном этапе (Д2) происходит внедрение гранитов, образующих купольные массивы в обрамлении, смятие вмещающих толщ и формирование общего синклинорного плана структуры, метаморфизм эпидот-амфиболитовой — амфиболитовой фаций. Со следующим этапом (Д3) связано поперечное сдавливание и формирование субмеридиональных северо-северо-восточных сдвиговых зон и субширотных разломов, сопровождавшихся приоткрыванием полос-

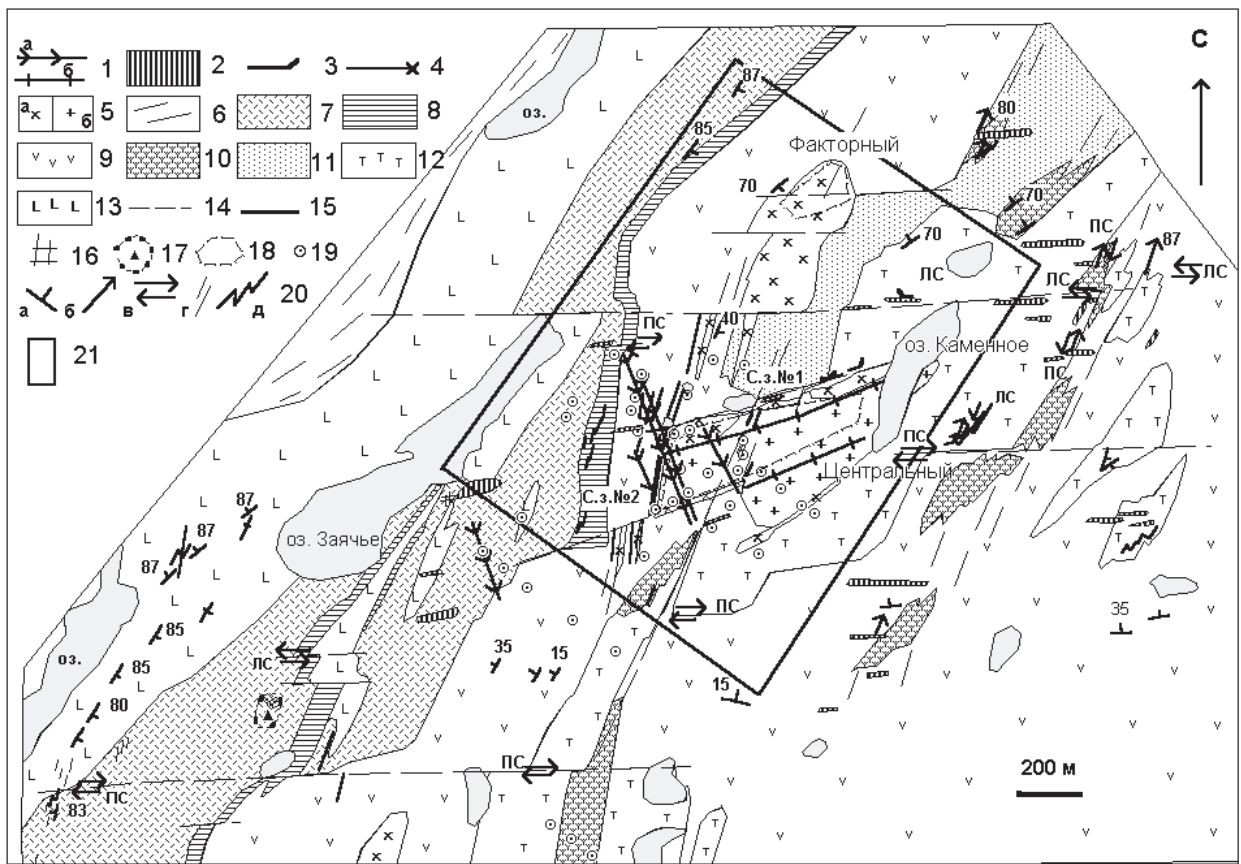


Рис. 2. Схема геологического строения участка Таловейс:

1–3 — дайковый комплекс: 1 — лампроиты (а), лампрофилы (б), 2 — габбро (AR), 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 обрамления; 7, 8 — шурловаарская свита: 7 — риодациты, 8 — кварц-биотитовые, биотит-амфиболовые сланцы и железистые кварциты; 9–12 — рувинваарская свита, метаморфизованные: 9 — базальты (амфиболиты), 10 — вариолитовые базальты (с шарами натриевых дацитов), 11 — комагититовые базальты, 12 — комагититы (вулканиты и кумулятивные перидотиты); 13 — амфиболиты по базальтам ниemiaрвинской свиты; 14 — тектонические нарушения, сдвиги; 15 — золото-кварцевые жилы; 16 — кварцевые штокверки в шурловаарской свите; 17 — эруптивный центр; 18 — зона березитизации и тонкопрожилкового золото-сульфидно-кварцевого оруденения интрузий Центральной и Факторной; 19 — скважины; 20, а — элементы залегания, расланцевания, б — линии осевых плоскостей складок, в — сдвиги лево- и правосторонние (ЛС, ПС), г — сланцеватость, связанная со сдвиговыми деформациями, д — складчатые деформации; 21 — участок геофизических работ

тей с внедрением по этим зонам даек и тел габбро, диоритов — гранит-порфиров таловейского комплекса. На более позднем этапе (Д4) в разрез костомукшской свиты происходит внедрение тел риодацитов раутаойского комплекса. Изменения в ореоле внутрискрустных интрузий таловейского комплекса не превышают эпидот-амфиболитовой фации. Наиболее поздние деформации этапа (Д5) происходили в условиях усиливающегося сжатия, сдвиговых деформаций и завершились внедрением калиевых гранитов (Шурловаарского, Восточного и Ниemiaрвинского массивов) и изоклиальной складчатостью в их ореоле. На ранней стадии этого этапа по северо-северо-восточным зонам деформаций формируются изоклиальные складки в пластичных средах, на заключительной

стадии возникают смещения в хрупких средах, например, смещения во внутрискрустных гранитах уч. Таловейс (рис. 2). Для зон сдвиговых деформаций характерен метаморфизм амфиболитовой фации, интенсивные метасоматические изменения (микроклинизация, образование скарноидов, гранат-роговообманковых метасоматитов), на поздних стадиях — формирование кварцевых жил и золотого оруденения.

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

Накопление золота на Южно-Костомукшской площади структуры фиксируется на разных временных отрезках ее геологической истории и связано:

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И МИКРОЭЛЕМЕНТЫ СРЕДНИХ И КИСЛЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД
КОСТОМУКШСКОЙ СТРУКТУРЫ**

Компо- 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
nnn	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
S	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	5	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. Анализы выполнены в химлаборатории ИГ КНЦ РАН, * – рентгено-флуоресцентный анализ. ** дано суммарное Fe₂O₃ (анализы Карельской ГЭ).

1 – кислые вулканы шурловаарской свиты. 2 – дациты и риодациты (геллефлинты) Костомукшского карьера. 3 – дайки фельзитов (риодациты) уч. Таловейс. Таловейский комплекс диоритов – гранит-порфиров: 4 – кварцевые диориты 1-й фазы внедрения, массив Факторный. 5–10 – массив Центральный: 5 – диориты, 6 – кварцевые диориты (1-я фаза внедрения), 7 – микрогранодиориты, 8 – микродиориты, 9 – гранит-порфиры (2-я фаза внедрения), 10 – аплиты. Уч. Берендей: 11 – дайки дацитов, 12 – дайки андезитов повышенной щелочности. Ниемиярвинский комплекс калиевых гранитов: 13 – Ниемиярвинский массив, 14 – массив Восточный.

1) с гидротермальными процессами и образованием колчеданной минерализации, ассоциирующей с кислыми вулканидами островодужной системы шурловаарской свиты (Зап. Рувинваарское, Ниемиярвинское); 2) с гидротермальными процессами, сопровождающими диорит-гранит-порфировый таловейский комплекс (Факторное, Берендей, Таловейс); 3) с гидротермальными процессами и сульфидной минерализацией, сопровождающими интрузивные тела и дайки риодацитов раутаойского комплекса (Костомукшский карьер); 4) с метасоматическими преобразованиями с сульфидной, арсенидно-сульфидной минерализацией (Берендей, Восточное, Кургелампи, Костомукшский карьер) и малосульфидными золото-кварце-

выми жилами (Таловейс) в зонах сдвиговых деформаций (табл. 1, [4]).

Таловейский интрузивный комплекс. С таловейским комплексом диоритов, кварцевых диоритов, гранит-порфиров связана главная стадия накопления золоторудной минерализации в Костомукшской структуре. Преобладающее большинство интрузивных тел комплекса установлено в южной ее части на уч. 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 (рис. 2). На основании геофизических данных к западу от относительно обнаженной центральной части массива Факторного предполагается существование более крупного не вскрытого тела, возможно, представленного гранит-порфирами второй фазы. Гранитоидные породы на схеме аномально-магнитного поля выделяются значениями от 0 до -300 нТл (рис. 3). Предполагаемого прогиба в кровле единого гранодиоритового массива в промежутке между интрузиями по данным бурения на глубине до 291 м (по С-25) установлено не было. Связь с массивом Центральным осуществляется серией маломощных субмеридиональных тел кварцевых диоритов, вскрытых буровыми скважинами.

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

Массив Факторный представлен преимущественно кварцевыми диоритами, но в маломощной краевой зоне наблюдается постепенный переход от диоритов к кварцевым диоритам. Мощность диоритов от 1 до 15 м, основного массива

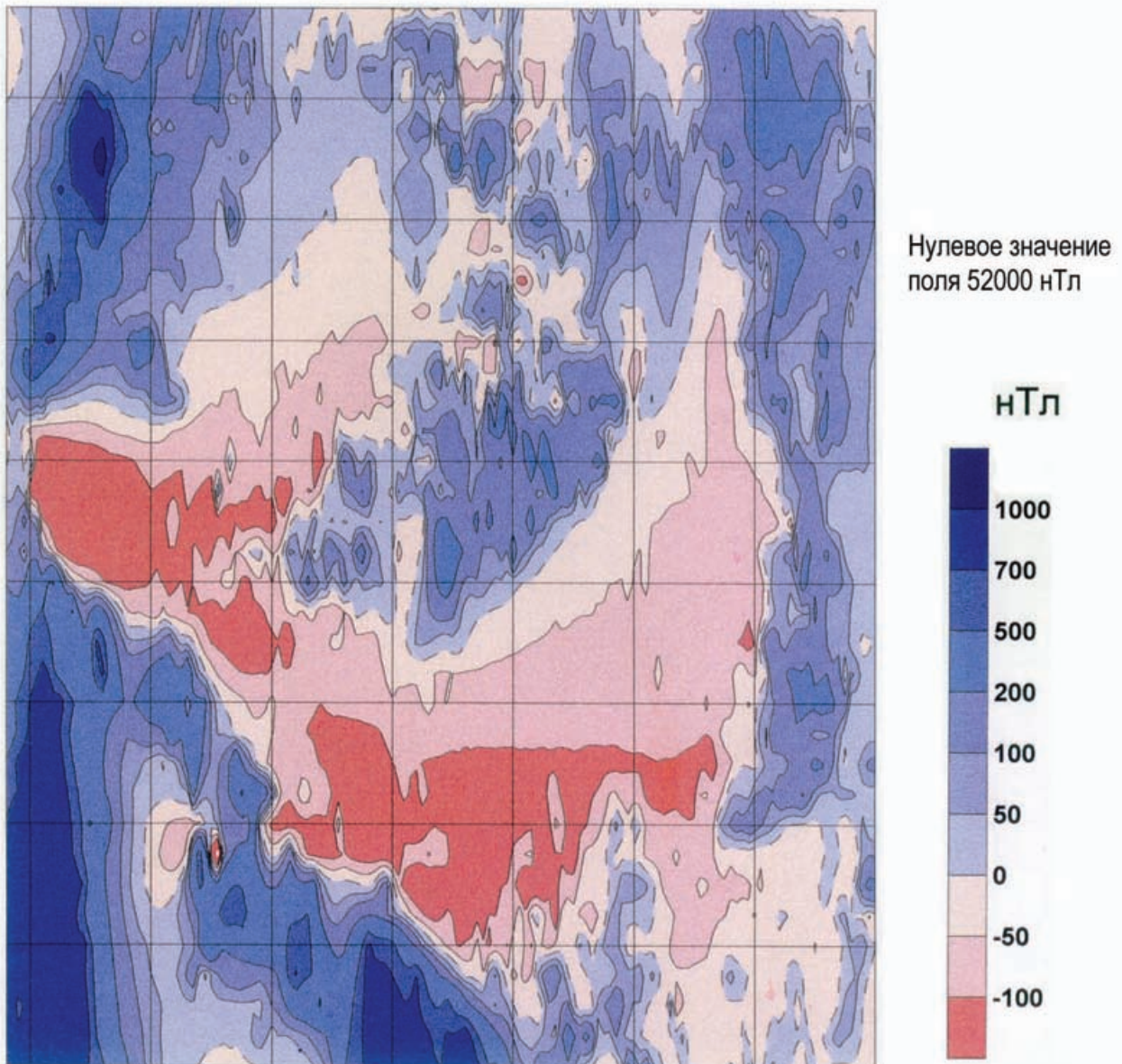


Рис. 3. Схема аномального магнитного поля участка Таловейс:

Сеть 2×2 см на схеме соответствует 200×200 м. Электронный вариант составлен Р. А. Макаровым

кварцевых диоритов — до 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 безитизации — серицит, карбонат.

На уч. Берендей скважинами подсечена серия сближенных даек микродиоритов и андезитодацитов рассматриваемого комплекса [3]. Кроме того, рои даек и зон изменений около них прослеживаются на всем протяжении между участками Таловейс и Берендей, образуя полосу, перспективную для нахождения золотого оруденения.

Кварц-плагиогранит-порфиры слагают массив Центральный. Массив представляет собой небольшую (400 x 800 м) двухфазную интрузию, вытянутую в субширотном направлении и крутопадающую на юг (аз. 70°). В контактах массива фиксируются облекающие деформации вмещающих пород, а в западном и северном экзоконтактах — наиболее сильные их изменения, выраженные в эпидотизации и биотитизации metabазальтов и образовании сложно смятых карбонат-тальк-хлорит-тремолитовых сланцев по коматиитам. Радиологический возраст гранитов, определенный по циркону, равен 2720 ± 15 млн лет [16].

Главные особенности внутреннего строения массива: 1) широкое развитие разновозрастных трещин и разломов различного масштаба, 2) интенсивная метасоматическая проработка гранитоидов и 3) пересечение их дайками щелочно-ультраосновного состава. При этом выделяются штокверк с разноориентированной системой трещин и две основные системы разломов лопийского и рифейского возраста, секущие массив.

Деформации, возникшие в лопии, ориентированы преимущественно в северо-восточном направлении (аз. 20°) с падением на восток под углом 80° и проявлены как сдвиговые зоны расланцевания и брекчирования. В этих тектонизированных зонах зафиксированы наиболее интенсивные метасоматические изменения гранитоидов. Рифейские разломы разбивают массив на крупные блоки. Они образуют две четко ориентированные системы — северо-восточную, фиксируемую дайками лампрофиров, и северо-западную (аз. 340°), установленную по развитию тел лампроитов.

Диориты — 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 порфиroidными 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 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 акцессориев отмечаются апатит, циркон, ортит, шеелит. Содержание апатита бочковидной формы иногда достигает 1,5%, количество P_2O_5 до 0,39%. В северной эродированной части интрузии, где предполагается центральная часть подводящего канала, граниты содержат более крупные выделения вкрапленников голубого кварца (до 0,5–1 см) и плагиоклаза (до 3–5 см).

Состав пород ранней фазы (табл. 2, 4–6) меняется. По опробованию, проведенному в пределах северного широтного тела массива Центрального, содержание SiO_2 57,92–60,56%, на участке Факторном 61,66%. Сумма щелочей 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 уч. 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%, Na_2O/K_2O 1,4, $al = 3,3$, $mg = 0,54$. От нормальных гранитов Ниемиярвинского и Восточного массивов (табл. 2, 13–14) отличаются по своему внешнему облику, минеральному составу и химизму. Они имеют более высокие содержания MgO и суммарного железа, повышенную магнезиальность, $mg = 0,54$, $al = 3,3$, $Na_2O > K_2O$, повышенные содержания CaO , TiO_2 , P_2O_5 , Sr , Ba и примесей V , Cr , Ni , Co , Cu , Zn , более низкие содержания Li , Rb . Гранит-порфиры образуют один эволюционный ряд с диоритами и кварцевыми диоритами.

Аплитовидные жилы, секущие кварцевые диориты и гранит-порфиры, представляют наиболее позднюю фазу. 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. 340° и 85°, смещаются жесткими сдвигами по трещинам с аз. 15–50°. Аплиты имеют бежевый цвет, тонкозернистую структуру, массивную текстуру с ветвистыми мик-

рографическими срастаниями альбита и кварца, содержание SiO_2 75,38%, сумму щелочей 6,46%, Na_2O 6,00%, K_2O 0,46% (табл. 2, 10).

Гидротермальные изменения и золоторудная минерализация. Таловейский комплекс представляет интерес как вмещающий и рудопроизводящий золото. Породы этого комплекса сопровождаются гидротермальными изменениями непосредственно в апикальных частях интрузивных массивов, в зальбандах даек и вызывают изменения в экзоконтактовом ореоле.

Изменения в метабазах и метакоматиитах в экзоконтактовой зоне кварцевых диоритов и гранит-порфиров массивов Факторный и Центральный отвечают условиям высокотемпературной пропилитизации. Они характеризуются интенсивной биотитизацией вмещающих пород, образованием эпидота, актинолита, тремолита, карбоната и сопровождаются пиритовой вкрапленностью и сульфидсодержащими карбонат-кварцевым прожилками, наложенными на амфиболиты и тремолитовые сланцы. В амфиболитах по базальтам севернее массива Факторного, на более удаленных уровнях от него, развиты малосульфидные и бессульфидные кварцевые жилы. Ксенолиты коматиитов в гранит-порфирах южной части интрузии Центральной интенсивно оталькованы, карбонатизированы и биотитизированы. Вмещающие толщи в северном и западном ореоле массива Центрального обогащены сульфидами (до 5–10%) и золотом (среднее 0,122–0,2 г/т).

Непосредственно сами кварцевые диориты и гранит-порфиры березитизированы и насыщены сетью маломощных разноориентированных (0,1–1 см) пирит-кварцевых прожилков, образующих штокверк. В зонах березитизации в северной части массивов Факторного и Центрального присутствуют серицит, кварц, альбит, незначительное количество карбоната (до 5%) и кубического пирита (до 5%). В кварцевых диоритах северо-западной части интрузии Центральной отмечен арсенопирит, а в сульфидно-кварцевых прожилках северной части — сфалерит, галенит, халькопирит. Параметры зон березитизации практически сопоставимы с площадью интрузивных тел. Массивы сопровождаются первичными и вторичными литохимическими ореолами. Золото-сульфидно-кварцевый штокверк штока Центрального с повышенными концентрациями золота тяготеет к северной и западной частям массива (рис. 2).

Наиболее интенсивные изменения установлены в сдвиговых зонах северо-северо-восточного простирания. Интрузия Центральная разбита серией таких зон, самая значительная из них № 1 (рис. 2). Во внешнем ореоле этих зон отмечается увеличение (до 20%) порфиробластического и интерстиционного микроклина, развитие альбита по олигоклазу, серицита. В центральных частях главной тектонизированной зоны наблюдается дробление как самих гранитоидов, так и вкрапленников кварца с образованием угловатых обломков. Раздробленные вкрапленники и обломки окружа-

ются каймой новообразованного мелкозернистого кварца, цементирующего гранитную брекчию. Внутренняя часть зоны выполняется жильным кварцем, формируются ветвящиеся жилы и прожилки, образующие линейный штокверк, сопровождающийся золоторудной минерализацией.

Сдвиговая зона № 1 (аз. 20°) в пределах массива трассируется линзующейся кварцевой жилой. Параллельно ей развита серия менее мощных зон расланцевания. Подобные зоны (ССВ 15–20°) левостороннего сдвига с пластическими деформациями во вмещающих породах и смещениями зафиксированы в пределах всей площади участка. Околожильные изменения распространяются на 0,5–7 и представлены кварцем, микроклином, альбитом, серицитом, хлоритом. К зальбандам жил тяготеет бедная сульфидная вкрапленность и видимое золото. Жила и рудная вкрапленность околожильных пород образуют рудное тело.

К югу от 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 ксенолите биотит-карбонат-талк-тремолитовых сланцев. Южнее массива вмещающие коматиитовые метабазалты и коматииты трассируются кварцевой жилой того же простирания.

В западном контакте интрузии (сдвиговая зона № 2) вмещающие метабазалты прорываются дайкой мелкозернистых диоритов и маломощной кварцевой жилой. В контакте жилы в основных породах развиты куммингтонит, тремолит, биотит.

Обобщая сказанное, можно отметить, что околожильные изменения, накладывающиеся на гранит-порфиры интрузии Центральной по ССВ сдвиговым зонам, сопровождаются резким увеличением калия, выраженном в интенсивной микроклинизации, вплоть до образования существенно микроклиновых пород, появлением в зальбандах жил на контакте с вмещающими породами куммингтонита, биотита, тремолита, т. е. носят более высокотемпературный характер, чем ранняя березитизация. В пределах подобных зон на уч. Берендей наблюдалось скарнирование вмещающих коматиитовых базальтов и образование биотитов [5]. В зонах пластических деформаций в коматиитовых метабазах происходит образование узких изоклиналиных 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 уч. 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 на возрастном рубеже около 2,7–2,68 млрд лет [3].

Последний тип изменений, наблюдаемый в гранитоидах комплекса Таловейс и носящий наложенный характер, — это биотитизация, сопровождающая жилы лампрофиров и лампроитов рифейского возраста, секущих интрузию Центральную и вмещающие толщи на уч. Берендей и локализуемая на контакте этих тел.

Локализация и характеристика оруденения. *Месторождение Таловейс* — наиболее изученный рудный объект Южно-Костомукшской площади — связан с массивом Центральным. Его изучением в разное время занимались В. В. Ушков, А. М. Дружинин, А. Г. Марченко и др. При поисково-разведочных работах на участке было пройдено 145 скважин, 112 канав и шурф с рассечками. Опробование проводилось по канавам и скважинам. Предварительная оценка ресурсов этого объекта категории P_2 составила 12,2 т золота.

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

Золото-пиритовый вкрапленный минеральный тип оруденения приурочен к зоне березитизации, охватывает всю северо-западную часть массива. Березитизация сопровождается пиритом, количество которого достигает 3–5%. Пирит фиксирует первичный ореол низкотемпературной гидротермальной проработки гранитоидов. Среднее содержание золота в березитизированных гранит-порфирах 0,5 г/т, достигая отдельных значений 1–5 г/т, в пиритах — 0,1–2 г/т, иногда до 5 г/т. К зонам березитизации приурочена также разноориентированная сеть маломощных золото-пирит-кварцевых прожилков, сложенных белым кварцем с вкрапленным пиритом (5–10%), самородным золотом и иногда карбонатом. Мощность прожилков 0,3–3 см, длина до 1 м. Эти прожилки выполняют сколовые (с аз. 40° СВ, 320° СЗ) и концентрические трещины, формируя штокверк. Содержание золота в штокверке колеблется от 0,5 до 8 г/т, в пиритах прожилковой минерализации — от 0,05 до 15 г/т (среднее 0,5 г/т).

Малосульфидная золото-кварцевая жильная минерализация представляет собой главный тип руд месторождения. В сдвиговой зоне № 1 цент-

ральной части участка работами КГЭ было выделено два рудных тела.

Первое рудное тело (рис. 4) приурочено к главной кварцевой жиле северо-северо-восточного простирания (аз. 20°) с крутым падением под углом 80° на ЮВ. Главная жила имеет сложную морфологию (включает жилы № 2 и 5, на глубине сменяется жилой № 6), общая длина жил № 2 и 5 — 30,5 м, мощность 1–2 м. Мощность минерализованной околожильной зоны от 2,5 до 16 м в раздувах, в среднем — 10 м. Она прослежена на глубину 100 м, по падению и простиранию на 100 м и содержит 0,2–10,4 г/т золота. Руды представлены самородным золотом и сульфидами (до 1–3%). В рудном теле, ассоциирующем с главной кварцевой жилой, средние содержания золота составляют 10,8–12,9 г/т, максимальные значения — до 32–47 г/т, количество серебра 1–3,4 г/т. В пиритах содержание золота колеблется от 0,23 до 51,3 (среднее 2,53 г/т). По данным ЦНИГРИ, содержание золота в рудах достигает 60,3–187,5 г/т. Запасы C_2 по жиле до глубины 33 м составляют 16 кг при среднем значении 11,6 г/т на мощность 0,42–0,7 м.

Второе рудное тело представлено кварцевым штокверком в южной части массива (рис. 2). Его мощность варьирует от 2–3 до 10–20 м, с глубиной она увеличивается до 40 м. Тело было околонтурено по простиранию на 100 м и прослежено по падению на 80 м. Содержания золота в нем варьируют от 1,6 до 4,26 г/т (среднее 3,5 г/т на среднюю мощность около 6,6 м).

В западном экзоконтакте массива к сдвиговой зоне № 2 приурочена маломощная (0,15 м) жила, секущая метабаазальты и диориты и имеющая длину в обнаженной части 15 м, аз. 20° , падение 80° ЮВ (рис. 2). Среднее содержание золота в ней составляет 38,1 г/т (максимальное — 81 г/т), присутствуют примеси серебра (0,01%) и висмута (0,03–0,05%). В зоне околожильных изменений в метабаазальтах и на выклинивании жилы содержание золота колеблется от 0,24 до 2,3 г/т.

Основным минералом вкрапленных и прожилково-вкрапленных золото-сульфидных и золото-сульфидно-кварцевых руд штокверка является золотосодержащий кубический пирит. Он образует хорошо ограненные кристаллы размером 0,2–0,5 см, в которых установлена изоморфная примесь золота (среднее 0,5 г/т). Самородное золото выделяется в виде изометричных зерен размером до 0,1 мм. Иногда отмечаются халькопирит, пирротин, сфалерит, галенит, арсенопирит.

Основными минералами золото-кварцевых малосульфидных жил являются самородное золото и сульфиды (до 1–3%). Пирит мелкокристаллический и образует неправильные формы, содержит золото (среднее 2,53 г/т). Более редкие рудные минералы представлены халькопиритом, пирротинном, галенитом, сфалеритом, висмутотеллуридами (цумоитом, сульфоцумоитом), леллингитом (по данным минералогического и микрозондового изучения, проведенного в ЦНИГРИ). Встречаются

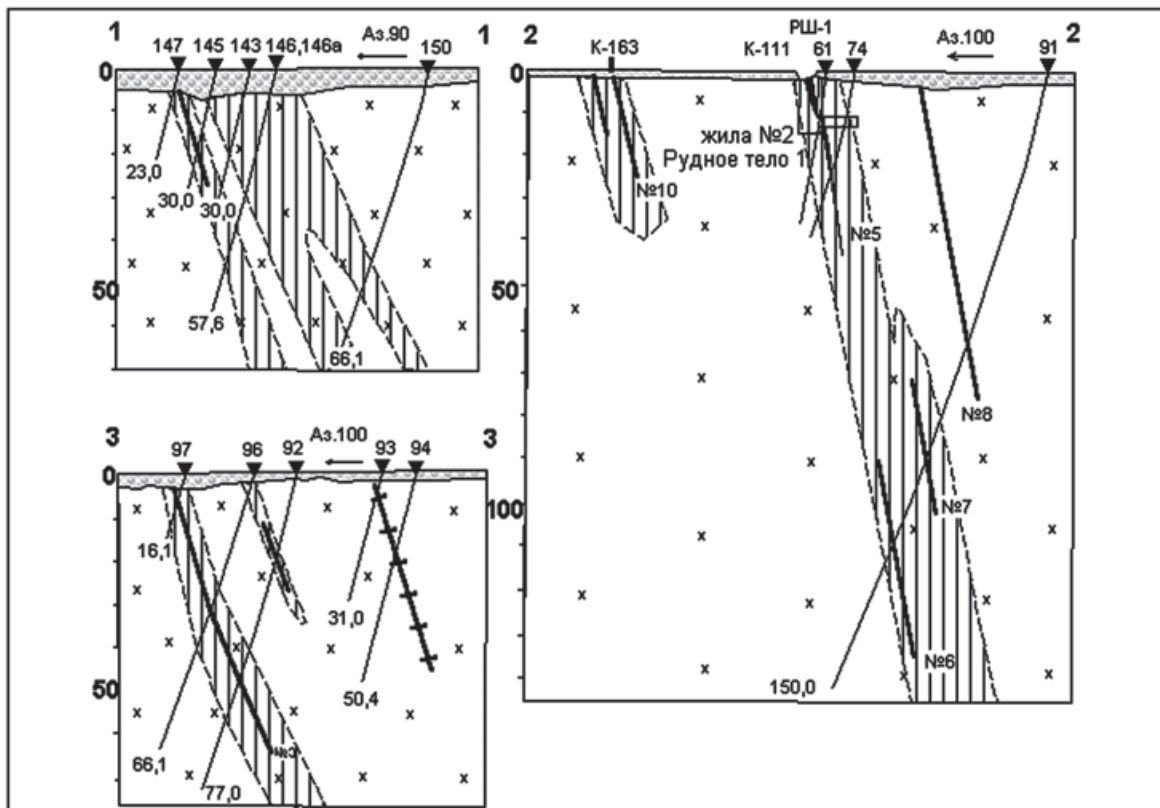
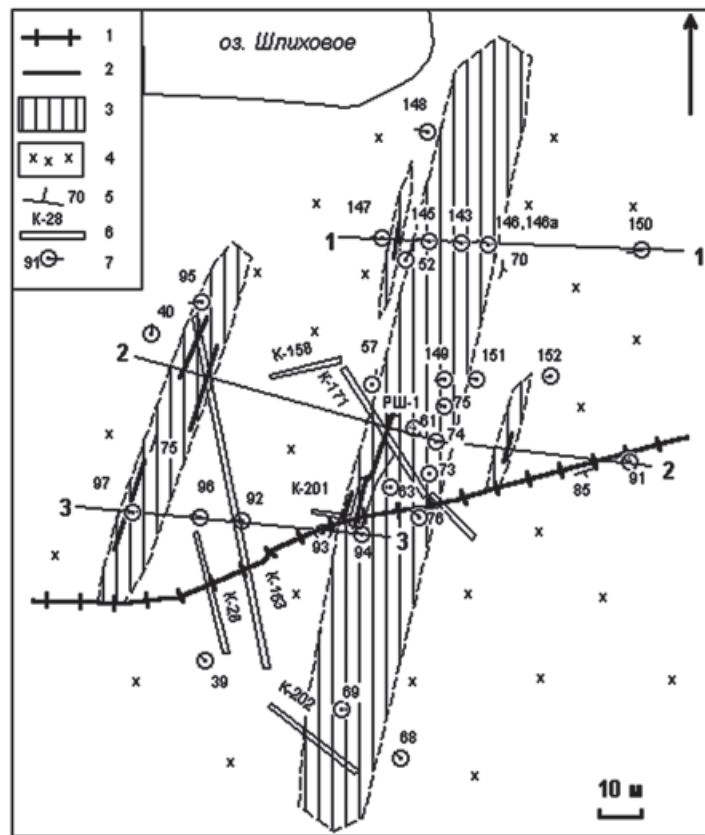


Рис. 4. Рудное тело 1 (в плане и разрезе):

1 — лампрофиры; 2 — кварцевые жилы; 3 — зона метасоматических изменений; 4 — гранит-порфиры; 5 — элементы залегания; 6 — каналы; 7 — скважины

шеелит, апатит, карбонаты, турмалин. Золото имеет комковатую, дендритовидную, палочковую и пленочную формы, что указывает на разностадийность его образования. Размер золотин колеблется от 5 мкм до 4 мм, преобладают зерна размером 0,1–0,45 мм. Пробность золота 860–970.

Рудопроявление Факторное связано с первой фазой комплекса диорит-гранит-порфиров уч. Таловейс, относительно штока Центрального расположено в 700 м севернее (рис. 2). В северной части интрузии Факторной выявлена серия золото-содержащих интервалов мощностью от 1 до 4,2 м, подсеченных скважинами. Породы слабо березитизированы и содержат бедную сульфидную вкрапленность, представленную преимущественно пиритом (количество 1–3%) и единичными выделениями халькопирита. Размер встречающихся золотин 0,05–0,15 мм. Содержание золота в рудах 0,41–6,4 г/т, в пиритах 0,43–3,74 г/т.

Выводы. В накоплении золота в южной части Костомукшской структуры существует стадийность: от бедных и рассеянных концентраций, связанных с сульфидной минерализацией зон гид-

ротермальной проработки полосчатой формации, ассоциирующей с кислыми вулканитами шурло-ваарской свиты (2795–2801 млн лет), до вкрапленной и штокверковой минерализации в березитизированных породах комплекса диоритов – гранит-порфиров и, наконец, наиболее продуктивных золото-кварцевых рудных тел в сдвиговых зонах северо-северо-восточного простирания в пределах полей развития диоритов – гранит-порфиров. Комплекс диоритов – гранит-порфиров (2720 млн лет) и сопровождающих его даек может рассматриваться как рудопроизводящий и вмещающий. Он образовался после главной фазы складчатости и приурочен к узлам пересечения субширотных и северо-северо-восточных сдвигов.

Золоторудная минерализация уч. Таловейс представлена двумя типами: 1) ранней золото-сульфидной вкрапленной и золото-сульфидно-кварцевой прожилковой, образующими штокверк в березитизированных гранит-порфирах; 2) поздней золото-кварцевой жильной, приуроченной к зонам северо-северо-восточных сдвигов (СВ 20°).

1. Горьковец В. Я., Раевская М. Б., Белоусов Е. Ф., Инина К. А. Геология и металлогения Костомукшского железорудного месторождения. Петрозаводск: Карелия, 1981. 143 с.
2. Горьковец В. Я., Раевская М. Б., Володичев О. И., Голованова Л. С. Геология и метаморфизм железисто-кремнистых формаций Карелии. Л.: Наука, 1991. 176 с.
3. Кулешевич Л. В. Кислый магматизм и золотое оруденение Костомукшской структуры // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск, 2002. С. 59–72.
4. Кулешевич Л. В. Эволюция эндогенных режимов и стадии золотого рудообразования в Костомукшской структуре // ДАН. Т. 396. № 6. 2004. С. 808–812.
5. Кулешевич Л. В., Фурман В. Н., Кортаева Н. Н. Золоторудное проявление Берендей (Южно-Костомукшское рудное поле) // Геология и полезные ископаемые Карелии: Петрозаводск, 2000. С. 50–59.
6. Кожевников В. Н. Условия формирования структурно-метаморфических парагенезисов в докембрийских комплексах. Л.: Наука, 1982. 184 с.
7. Кожевников В. Н. Архейские зеленокаменные пояса Карельского кратона как аккреционные орогены. Петрозаводск, 2000. 222 с.
8. 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.
9. Никитина Л. П., Лохов К. И., Левский Л. К. и др. Протерозойский лампроитовый магматизм восточной части Балтийского щита // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 1999. Вып. 2 №14. С. 11–24.
10. Пухтель И. С., Самсонов А. В., Щипанский А. А., Фурман В. Н. Аккреционная тектоника в Карельской гранит-зеленокаменной области. Костомукшский зеленокаменный пояс как пример террейновой структуры // Корреляция геологических комплексов Фенноскандии. Тез. докл. 1-й Междунар. конф. СПб., 1996. С. 65–67.
11. Ушков В. В. Уточнение перспектив золотоносности Костомукшского рудного района // Типизация зеленокаменных поясов Карело-Кольского региона и оценка перспектив их рудоносности. Отчет НИР. Фонды КГЭ. Инв. № 1708. Кн. 2. Петрозаводск, 1989.
12. Фурман В. Н. Отчет о результатах поисковых работ на золото, проведенных в южной части Костомукшской зеленокаменной структуры в 1988–2001 гг. Отчет НИР. ТГФ. Инв. № 607. Петрозаводск, 2001.
13. 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 / Kremenetsky A. e. a. M., 2000. P. 193–211.
14. Puchtel I. S., Hofman A. W., Yochum K. P. et al. The Kostomuksha greenstone belt, NW Baltic Shield: remnant of a late Archaean oceanic plateau // Terra Nova. 1997. № 9. P. 87–90.
15. 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.
16. Samsonov A. V., Puchtel I. S., Shchipsansky 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.