Литература

1. *Леонов М.Г.* Тектоника континентального фундамента и вертикальная аккреция консолидированной земной коры // Фундаментальные проблемы общей тектоники. М.: Научный Мир, 2001. С. 91–154.

2. *Леонов М.Г., Колодяжный С.Ю.* Структурно-кинематические ансамбли и некоторые особенности постархейской геодинамики Карельского массива (Балтийский щит) // Геотектоника. 2002. № 5. С. 19–44.

3. *Колодяжный С.Ю.* Структурно-кинематические особенности эволюции центральной части Беломорско-Лапландского пояса в палеопротерозое (Балтийский щит) // Геотектоника. 2007. № 3.

4. *Колодяжный С.Ю.* Структурно-кинематическая эволюция юго-восточной части Балтийского щита в палеопротерозое. М.: ГЕОС, 2006. 332 с.

Корово-мантийный магматизм Ялонварской структуры и связь с ним оруденения

Кондрашова Н.И.

Институт геологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, e-mail: kondr@krc.karelia.ru

По современным представлениям основная масса архейской коры была сформирована в интервале 3.9-2.5 млрд. лет продуктами тоналит-трондъемит-гранодиоритовой (TTG) серии.

Для пород TTG-серии характерно содержание SiO_2 от 64 до 70%, 3.0%<= Na_2O<=7.0%, K_2O/Na_2O<0.5, M# порядка 0.43, содержания Ni и Cr 14 и 29 ppm соответственно [6; 9].

В конце архея (2.8-2.5 млрд. лет назад) произошло внедрение высококалиевых и высокомагнезиальных мантийных производных – санукитоидов [5].

Впервые термин «санукитоид» появился при описании поздне-пост-тектонических архейских гранитоидов Канадского щита химически сходных с санукитами (SiO_2 около 60%, MgO>6%, Mg#>0.60, Cr>100 ppm, Sr, Ba>500 ppm, высокое содержание Na_2O, K_2O, LREE, La/Yb), но отличавшихся от них по минералогии и структурным особенностям [8].

В пределах карельской части Балтийского щита из числа позднеархейских гранитоидов, относившихся ранее к TTG- серии, были выделены санукитоиды, с которыми пространственно и, предположительно, парагенетически связаны проявления золоторудной минерализации [4].

Были выделены санукитоиды и в пределах Ялонварской структуры, являющейся частью позднеархейского зеленокаменного пояса Ялонвара-Иломантси-Тулос и сложенной андезибазальтами-андезидацитами и риолитами ялонварской свиты, прорванных интрузией диорит-лейкогранитового состава и многочисленными субвулканическими телами от основного до кислого состава [4]. Фундамент структуры – нижнеархейские гранито-гнейсы.

Образования структуры объединяют в Ялонварский вулкано-плутонический комплекс[2], вулканиты которого относят к производным известково-щелочной (ИЩ) серии.

На вариационных диаграммах (рис.1) петрогенные элементы действительно характеризуются трендами, свойственными магматическому фракционированию известково-щелочного типа.

Однако широкий разброс точек на приведенных диаграммах, а часто и смена корреляционных связей с положительных на отрицательные в распределении петрогенных окислов (рис.2) свидетельствует либо об изменении условий дифференциации в рамках ИЩ серии, либо о наличии в разрезе пород другой серии.

Основная масса вулканитов разреза имеет средне-кислый состав, часть пород характеризуется повышенной магнезиальностью. В разрезе присутствуют андезиты с содержанием MgO > 5% и величиной магниевого числа 0.4<M# < 0.6 (рис.3).

Средне-кислые вулканиты при сходных содержаниях кремнезема характеризуются разными величинами магниевого числа: от коровых (0.2) до мантийных (0,6). Отсутствие единого тренда с отрицательной корреляцией рассматриваемых компонентов указывает на высокую вероятность смешения расплавов различного генезиса: корового и мантийного при образовании данных пород. Высокие величины магниевого показателя части средне-кислых пород (до 0.6) подтверждают данное предположение.

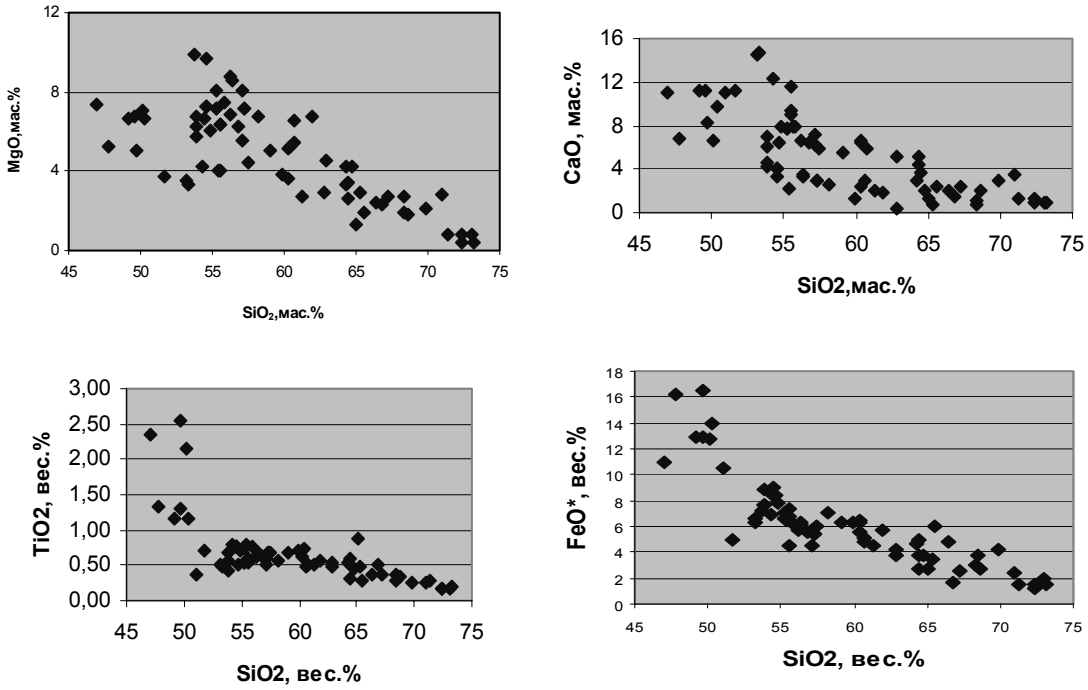


Рис. 1. Диаграммы Харкера для вулканогенных пород Ялонварской структуры

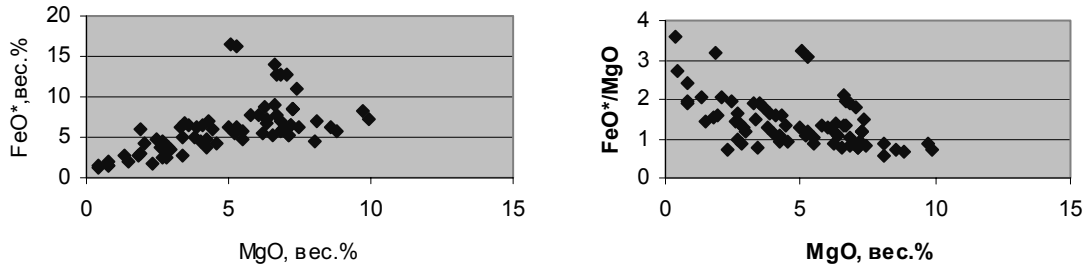


Рис. 2. Диаграммы, демонстрирующие возможное присутствие в структуре производных разных петрохимических серий

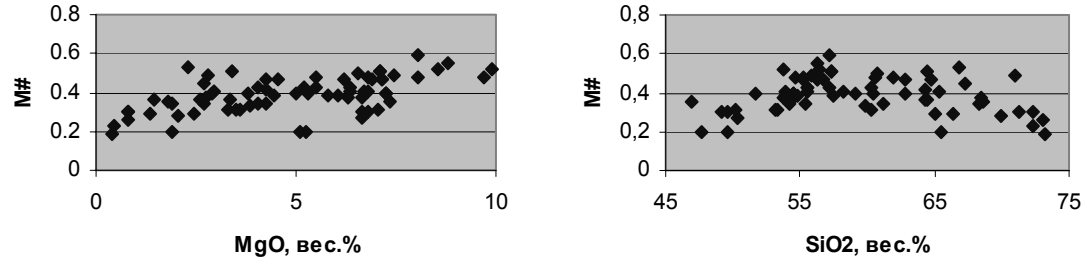


Рис. 3. Диаграммы, демонстрирующие изменение величины магниевого показателя от содержания MgO и SiO_2

Гранито-гнейсы фундамента характеризуются величиной магниевого показателя от 18 до 44, следовательно они не могут быть единственным источником расплава для пород структуры с большей величиной данного показателя.

На диаграмме (рис.4) точки составов ялонварских вулканитов располагаются в поле амфиболитов нижней континентальной коры и часть точек в поле плавления верхнемантийного субстрата, что согласуется с вышеприведенными петрохимическими данными, и не исключает возможного присутствия в разрезе мантийных производных.

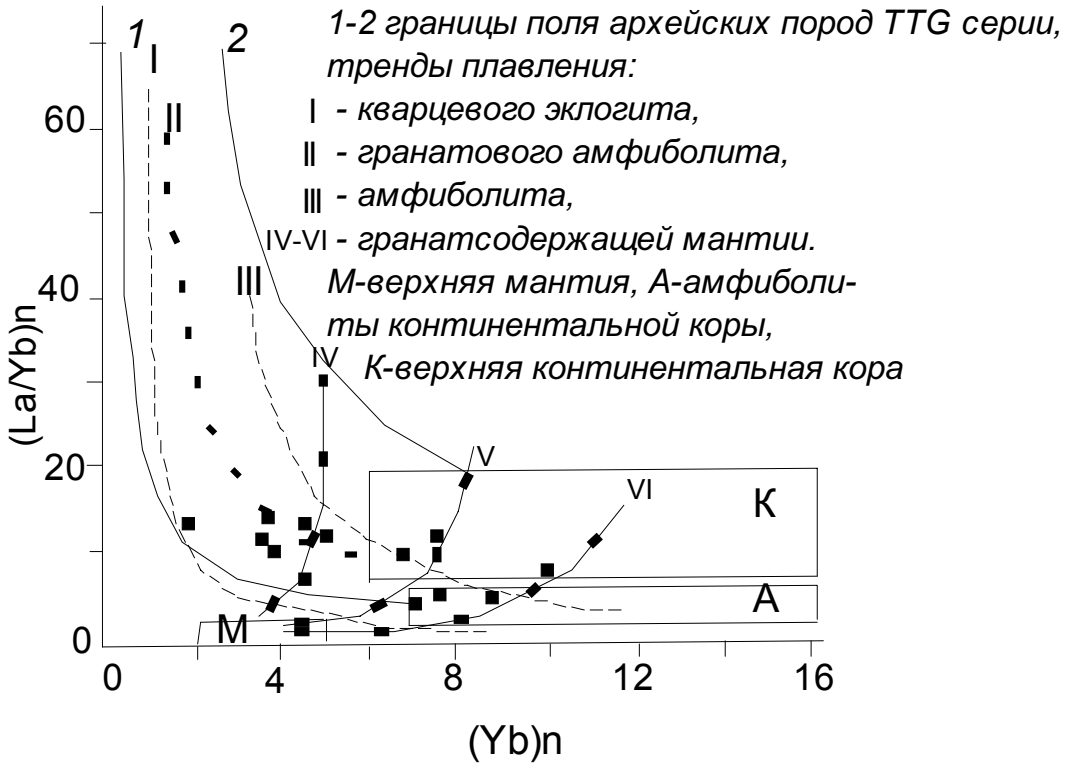


Рис. 4. Точки составов ялонварских вулканитов в координатах (La/Yb)n – (Yb)n

Высокие содержания Cr (а также Ni) в средних и в части кислых по кремнекислотности пород, где в незначительном количестве присутствует магнетит, не могущий быть ответственным за такие высокие содержания этого элемента, также свидетельствуют об их возможном происхождении из расплава мантийного генезиса, где отсутствовало фракционирование оливина и шпинели, результатом которого является резкое уменьшение содержания хрома и никеля. Высокое содержание этих элементов не во всех случаях распространяется на другие фемические элементы, такие как Co, Sc, V. Это не исключает формирования основной массы пород структуры из расплавов, образующихся при плавлении нижней базальтовой коры.

В настоящее время источником для формирования санукитоидов признается метасоматизированнная мантия перидотитового состава [7].

Отсутствие единого тренда на графике Sr-SiO_2 (рис.3) указывает на разный исходный источник для пород структуры, обедненный литофильными элементами (при SiO_2 <52%) и обогащенный ими (при SiO_2 >52%). Учитывая, что в щелочных расплавах много содержится стронция и мало кальция, можно предположить, что исходный для части ялонварских пород расплав был подщелоченным.

При содержании кремнезема 60–65% – количество стронция постоянно (100–250г/т), для кислых разновидностей пород (70–75% SiO_2) наблюдается рост содержания стронция от 100 до 400 г/т, что не типично при фракционной дифференциации расплава. Не исключено, что это связано с контаминацией исходного расплава коровым материалом.

Учитывая различное поведение стронция и рубидия в магматическом процессе, следует ожидать между их содержаниями в породах Ялонварской структуры, при образовании их из единого источника, отрицательную корреляцию. Подобной связи этих компонентов не наблюдается (рис.5), напротив, при росте содержания рубидия от единиц до 200 г/т, фиксируется рост концентрации стронция (от единиц до 400 г/т), что возможно лишь при наличии в расплаве обогащенного стронцием корового контамината.

Показательно изменение содержания фосфора в рассматриваемых вулканитах (рис.5).

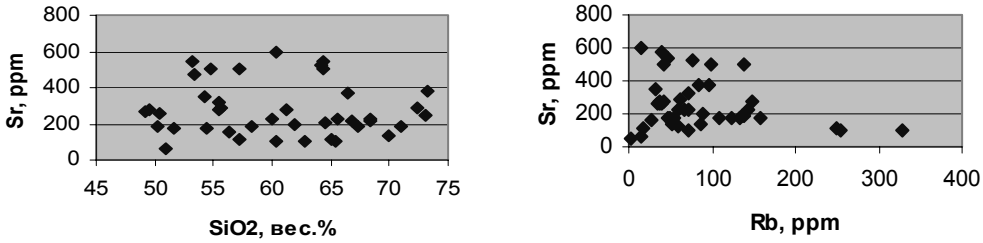


Рис. 5. Положение точек составов в координатах Sr-SiO_2, Sr-Rb

При фракционной кристаллизации основных расплавов фосфор накапливается в остаточных расплавах, т.к. он не входит в состав ранних кристаллических образований, являясь несовместимым элементом. Минерал фосфора – апатит присутствует во всех разновидностях ялонварских вулканитов в незначительном количестве, следовательно, его влияние на распределение фосфора в породах невелико.

На графике (рис.5) отчетливо выделяются 2 тренда. С ростом содержания кремнезема от 57% и выше наблюдается четкий линейный тренд отрицательной корреляции кремнезема и содержания фосфора, типичный при проявлении процесса кристаллизационной дифференциации вулканических пород. При содержании кремнезема в пределах 47–57% выделяются породы с практически постоянной концентрацией фосфора (0.40–0.30%) и часть точек составов с положительной корреляцией фосфора (0.05–0.20%) и кремнезема. Подобная смена корреляционных связей может быть обусловлена резкой сменой механизма дифференциации, что можно связать с эффектом смешения расплавов, либо с отделением от расплава флюидного раствора, что подтверждается экспериментальными данными [1]. По данным этих авторов в десятки раз по сравнению с силикатным расплавом обогащается отделяющаяся фаза литием, магнием, барием, скандием и торием; в несколько раз – фосфором, ураном, молибденом и вольфрамом. Распределяются в пользу алюмосиликатного расплава рубидий, цезий, цирконий, гафний, ниобий, тантал, галлий, германий и хлор.

Это не противоречит данным [3] доказавшим, что геохимическая эволюция рудогенеза в Ялонварской структуре заключалась в последовательном возрастании литофильных (Mo, W),а затем благородно-метальных (Ag, Au) элементов. На самых поздних стадиях рудообразования по данным этих авторов аналогичная тенденция проявлена для B, Pb, Zn, Bi, In, Cd.

Вулканиты структуры обогащены легкими редкими землями при дефиците тяжелых (табл.).Единичные зерна граната, циркона, присутствующие в ялонварских вулканитах, в силу своего незначительного количества не могут играть существенной роли в балансе распределения тяжелых редких земель. Подобное обеднение тяжелыми редкими землями, вероятно, можно объяснить фракционированием темноцветных минералов в процессе образования пород.

	0191B	Я1-99a	0291a	Я1-56	0790e	Я1-101B	Я1-42
La	11	15,3	14,7	13,8	20,9	12,8	10,1
Ce	28.6	30,9	35,5	26,3	45,8	30,9	24,2
Nd	10.5	13,9	14	14,3	24	20,7	15,6
Sm	2.38	2,75	3,11	3,15	4,79	5,02	4
Eu	0.72	0,64	0,6	0,78	1,38	1,4	1,3
Gd	2.53	2,41	2,76	2,6	3,77	4,81	3,75
Tb	0.35	0,34	0,38	0,49	0,65	0,79	0,58
Tm							0,27
Yb	0.47	0,73	1,33	0,99	2,07	1,44	1,74
Lu	0.06	0,09	0,16	0,15	0,21	0,22	0,28
сумма	56.61	67.06	72.54	62.56	103.57	76.55	61.82
0191B, Я1-99a, 0291a – риолиты, 0790e, Я1-56 – андезидациты, Я1-101B, Я1-42a – андезиты							

Среднее суммарное содержание редких земель по группам пород сходно, в риолитах – 65.40 г/т, в андезидацитах – 83.07 и андезитах – 69.19 г/т. Максимальный вклад в эти значения вносят легкие редкие земли. Сумма La,Ce, Nd соответственно равна в среднем 58.6 г/т, 72.6 и 57.2 г/т.

Отсутствие на графиках (рис.7) европиевой аномалии, за исключением отдельных образцов риолитов, указывает, что фракционирование плагиоклаза при формировании пород не играло существенной роли, либо источник был обеднен европием. Наличие полевых шпатов в кислых разновидностях пород должно было приводить к рассеиванию легких лантаноидов в их кристаллических решетках, и можно было ожидать инверсия состава редкоземельных элементов в интрузивных пород структуры, при образовании их из единого с вулканитами расплава, что не наблюдается. Содержания редких земель в гранодиорите -обр. 1-56В (диорите – обр. 1–13А) следующие: La – 34.8 (68), Ce – 51.9 (134), Nd – 17.8 (64.7), Sm – 2.74 (9.6), Eu – 0.54 (2.24), Gd – 1.17 (6.76), Tb – 0.26 (0.93), Yb – 1.09 (1.58), Lu – 0.14 (0.19).

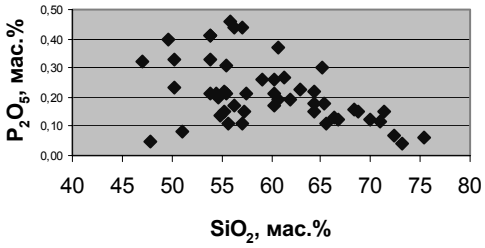
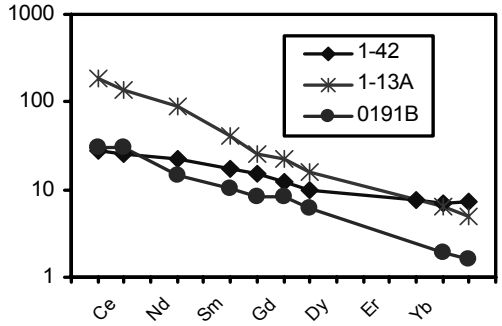


Рис. 6. Изменение содержания P_2O_5 в вулканогенных породах структуры



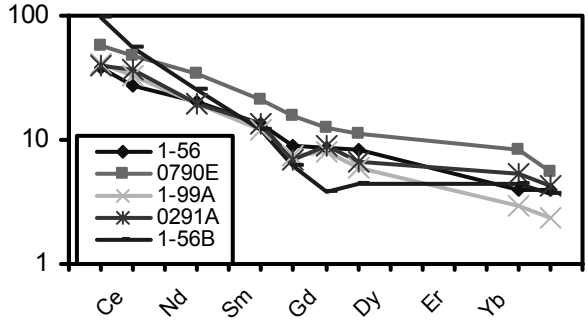


Рис. 7. Нормализованное по хондриту (Taylor, McLennan, 1985) распределение редких земель в магматических породах Ялонварской структуры

Известно, что в большинстве гидротермально-метасоматических систем легкие РЗЭ обогащают минералы фаций повышенной щелочности, а тяжелые – повышенной кислотности. Обогащенность легкими редкими землями вулканитов Ялонвары не противоречит предположению о формировании части пород структуры из магмы повышенной щелочности.

Таким образом, особенности состава вулканитов Ялонварской структуры не позволяют однозначно отнести их с санукитам, т.к. в их генезисе, возможно, основная роль принадлежала основным породам нижней континентальной коры. Возможно, это является причиной достаточно низких показателей магниевого числа (редко до 0.6, в среднем – 0.4), тогда как для типичных санукитов этот показатель выше.

Литература

1. *Граменицкий Е.Н., Котельников А.Р., Батанова А.М., Щекина Т.И., Плечов П.Ю.* Экспериментальная и техническая петрология. - М.: Научный Мир, 2000. 416 с.

2. *Иващенко В.И., Лавров О.Б.* Магматогенно-рудная (Mo, Cu, Au) система ялонварского вулканно-плутонического комплекса Карелии. Петрозаводск: Кар. НЦ РАН, 1994.128 с.

3. *Иващенко В.И., Лавров О.Б.* Рудогенез и благородно-метальный потенциал Ялонварского вулканно-плутонического комплекса архея Карелии.// Палеовулканология, вулканогенно-осадочный литогенез, гидротермальный метаморфизм и рудообразование докембрия. Тез. докл. Петрозаводск: Кар. НЦ РАН, 2001. С. 110–111.

4. *Чекулаев В.П., Лобач-Жученко С.Б., Арестова Н.А., Коваленко А.В., Гусева Н.С.* Архейские высоко-Mg гранитоиды (санукитоиды) – индикаторы золотой минерализации в Карелии: геология, состав, пространственно-временной положение.//Глубинное строение и геодинамика Фенноскандии, окраинных и внутриплатформенных транзитных зон. Тез.докл. Петрозаводск, 2002. С.251–253.

5. *Martin H.* The adakites: modern analogs of Archaean granitoids. // Lithos. 1999. № 46. P. 411–429.

6. *Martin H., Smithies R.H., Rapp R., Moyen J.-F., Champion D.* An overview of adakite, tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG), and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution.// Lithos. 2005. № 79. P. 1–24.

7. *Rapp R., Shimizu N., Norman M.C., Applegate G.S.* Reaction between slab-derived melts and peridotite in the mantle wedge e[perimental constraints at 3.8 GPa. // Chemical Geology. 2000. № 160. P. 335–356.

8. *Shirey S.B., Hanson G.N.* Mantle-derived Archaean monzodiorites and trachyandesites. // Nature. 1984.V. 310. P.22–224.

9. *Smithies R.H., Champion D.C.* The Archaean high-Mg diorite suite: links to tonalite-trondhjemite-granodiorite magmatism and implications for early archaean crustal growth. // Journal of Petrology. 2000. V. 41. № 12. P. 1653–1671.

Металлогеническая карта российской части Фенноскандинавского щита масштаба 1:1 000 000

Корсакова М. А.[1], Красоткин С. И.[2], Мурадымов Г. Ш.[3], Стромов В. А.[4]

[1]ГГУП «Специализированная фирма «Минерал», г. Санкт-Петербург, e-mail: Velikanova45@mail.ru
[2]ФГУП ВСЕГЕИ им. Карпинского, г. Санкт-Петербург, e-mail: SKRAS@VSEGEI.sp.ru

Металлогенический анализ российской части Фенноскандинавского щита, охватывающей Карело-Кольскую металлогеническую провинцию, основан на составленной в период 2006–2007 г.г. металлогенической карте масштаба 1:1 000 000. Её создание явилось продолжением совместной с геологическими службами Финляндии, Швеции, Норвегии и России работы по составлению и изданию комплекта карт, включающего на первом этапе геологическую и геофизические карты (аномального магнитного поля и поля силы тяжести) масштаба 1:1 000 000. Первый этап этой работы завершился в 2002 году составлением цифровых моделей карт в масштабе 1:1 000 000 и изданием их в масштабе 1:2 000 000.

Постановка работы по составлению металлогенической карты нового поколения диктовалась необходимостью обобщить и проанализировать огромный объём информации по региональной и отраслевой металлогении региона, по запасам и прогнозным ресурсам российской части Фенноскандинавского щита, по новым для Карело-Кольского региона видам минерального сырья (МПГ, Au, Mo, Cr, алмазы), т. е. по всем данным, которые появились после создания последних сводных металлогенических карт [1, 2].

Фактографической основой рудной нагрузки металлогенической карты явилась впервые созданная в рамках данной работы по единой форме и для всего Карело-Кольского региона база данных рудных и части нерудных полезных ископаемых, в которую вошли все известные месторождения как эксплуатируемые и подготовленные к эксплуатации, так и законсервированные, разведуемые и отработанные, а также проявления с подсчитанными прогнозными ресурсами категории P_1 и P_2 (апробированные и авторские). Она включает 246 объектов, охарактеризованных с оптимально необходимой полнотой. Для её составления были использованы имеющиеся в Территориальных фондах паспорта и кадастры месторождений и проявлений, балансы, а также ряд монографий [3, 4, 5].

База данных составлена в формате Access и на её основе создана цифровая модель карты месторождений и проявлений Российской части Фенноскандинавского щита масштаба 1:1 000 000.

В рамках международного проекта «Карта полезных ископаемых Фенноскандии масштаба 1:1 000 000» база данных передана финской стороне для включения её в единую базу данных по рудным месторождениям Фенноскандинавского щита. В настоящее время она подготовлена для публикации в Интернете и на её основе создана карта металлических полезных ископаемых Фенноскандинавского щита.

Геологической основой металлогенической карты явилась составленная также в рамках данной работы актуализированная геологическая карта масштаба 1:1 000 000, учитывающая российскую часть геологической карты Фенноскандинавского щита (2002 г.) а также новейшие геолого-геофизические материалы: Госгеолкарты-200 второго и Госгеолкарты-1000 второго и