

Геологическое строение, позднеархейский интрузивный магматизм и металлогения Ондозерско-Сегозерской площади (Карелия)

А.В.ДМИТРИЕВА, Л.В.КУЛЕШЕВИЧ (Институт геологии Карельского научного центра РАН; 185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д. 11)

Два основных типа позднеархейских интрузий (2,74–2,7 млрд. лет) прорывают зеленокаменные толщи Ондозерско-Сегозерской площади (Карелия). Они относятся к двум сериям: 1 – умереннощелочной (санукитоидной) – дифференцированные от пироксенитов до сиенитов и 2 – известково-щелочной – порфиридные гранитные комплексы. Рассматриваются: их строение, петрография, петрохимические особенности и оруденение, определившие металлогению территории: 1 – P-Ti-P3Э (с Pt), 2 – Cu-Pb-Zn-Mo (с Bi, Ag, Au). Приводится характеристика отдельных рудных объектов.

Ключевые слова: умереннощелочные дифференцированные и гранитные массивы, геохимия, металлогения, архей, Ондозерско-Сегозерская площадь, Карелия.

Дмитриева Антонина Васильевна
Кулешевич Людмила Владимировна



dmitrievaa-v@yandex.ru
kuleshev@krc.karelia.ru

Geological structure, Late Archean intrusive magmatism and metallogeny of the Ondozero-Segozero prospect, Karelia

A.V.DMITRIEVA, L.V.KULESHEVICH (Institute of Geology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences)

Two major types of Late Archean (2,74–2,7 Ga) intrusions cross-cut the greenstone rocks of the Ondozero-Segozero prospect, Karelia. They belong to two moderately alkaline (sanukitoid) and calc-alkaline series: 1 – differentiated (pyroxenites to syenites) and 2 – porphyreous granitic complexes. Their structure, petrography, petrochemical peculiarities and mineralization determined the metallogeny of the territory: 1 – P-Ti-REE (with Pt), 2 – Cu-Pb-Zn-Mo (with Bi, Ag, Au) are discussed. Individual ore bodies are described.

Key words: moderately alkaline differentiated and granitic massifs, geochemistry, metallogeny, Archean, Ondozero-Segozero prospect, Karelia.

Геологическое строение. Ондозерско-Сегозерская площадь в Центральной Карелии объединяет складчатые архейские зеленокаменные структуры лопийского надгоризонта (AR₂, Ip), гранитогнейсовые и гранитоидные блоки и перекрывающие их узкие вытянутые в северо-западном направлении протерозойские структуры, представленные отложениями сумийско-сариолийского и ятулийского надгоризонтов (рис. 1 – названия надгоризонтов, серий и свит даются по местной стратиграфической шкале).

В строении лопийского надгоризонта Сегозерско-Лазаревской зеленокаменной структуры (см. рис. 1), расположенной северо-западнее оз. Сегозеро, принимают участие амфиболиты и зеленые сланцы по базальтам рувинваарской свиты (контокская серия), кварциты и слюдястые сланцы сурлампинской свиты (гимольская серия), выделенные по результатам геологической съемки, проведенной В.А.Ганиным (1983). Тип геоло-

гического разреза этой структуры сопоставляется с отложениями Костомукшско-Гимольского зеленокаменного пояса, формирование вулканогенно-осадочных и терригенных (флишевых) комплексов которого происходило в интервале 2,84–2,71 млрд. лет. Возраст вмещающих пород, установленный по ксенолитам в умереннощелочных массивах, составляет 2784±4 и 2791±8 млн. лет [17, 22].

Терригенные толщи более широко распространены в западной части рассматриваемой площади. Они включают гранат-биотитовые, кварц-биотитовые, кварц-амфибол-биотит-полевошпатовые и в небольшом объеме углеродсодержащие сланцы, локально развиты биотитовые или грюнеритовые магнетитовые кварциты. Железистые кварциты образуют небольшие проявления Волома (по р. Волома и аномалии вблизи впадения ее в оз. Сегозеро) и Тумба-речка (западнее изучаемой площади, по В.А.Ганину и др., 1983).

Лопийские зеленокаменные толщи центральной части площади прорываются умереннощелочными дифференцированными от габбро-пироксенитов до сиенитов или монцонитов массивами и порфиридовидными плагиомикроклиновыми гранитами. В северо-восточном обрамлении структуры (Ондозерском блоке) развиты тоналито-гнейсы, мигматит-граниты и поздние К-граниты с многочисленными ксенолитами разнообразных вмещающих и интрузивных пород (амфиболитов и сланцев по основным и кислым вулканогенно-осадочным толщам), в том числе – пород умереннощелочного комплекса (пироксенитов и габбро-монцонитов), диоритов, габбро [21].

В южной части Ондозерско-Сегозерской площади (южнее оз. Сегозеро) лопийские отложения представлены более древними толщами (3,0–2,86 млрд. лет). В Гормозерской структуре нижняя часть разреза сложена амфиболитами по базальтам семчереченской свиты. Выше залегают разнообразные сланцы по слоистым и агломератовым туфам, метавулканикам кислого и среднего состава, осадкам и коматиито-базальтам, относимым к бергаульской свите. Среди них встречаются прослои черных углеродсодержащих сланцев и колчеданных руд. Рудопоявление колчеданных руд, обнаруженное еще в XIX в., известно как рудник Бергаул (материалы геологоразведочных работ З.Т.Громовой, 1956; М.Е.Зильбер, 1953 [13]).

Подобные зеленокаменные толщи распространены и в других небольших лопийских структурах, сохранившихся в гранито-гнейсах южнее оз. Сегозеро на участках Вожема и Остер. Тип геологического разреза этой части площади сопоставляется с нижнелопийскими отложениями Эльмусской и Койкарской зеленокаменных структур, расположенных в центральной части Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса Центральной Карелии, формирование которых происходило в интервале 3,05–2,85 млрд. лет [15, 16]. Вмещающие толщи прорываются гранитоидными массивами нескольких возрастных групп, внедрявшихся в длительном промежутке времени от 3,0 до 2,7 млрд. лет.

Интрузивные породы и их возраст. В Сегозерско-Лазаревской зеленокаменной структуре севернее оз. Сегозеро наиболее хорошо изучены и продатированы многофазные дифференцированные умереннощелочные пироксенит-монцонит-сиенитовые массивы, формировавшиеся в интервале 2,74–2,72 млрд. лет (Панозерский, Сяргозерский, Шаравалампи), и расположенный северо-западнее изучаемой площади Западно-Хижъярвинский [2, 7, 8, 20] (табл. 1). С габбро-пироксенитовыми дифференциатами массива Шаравалампи связана Р-Ті-рудная минерализация позднемагматического генезиса [18]. Ее возраст был установлен изотопным методом по титаниту и равен $2726,1 \pm 1,3$ млн. лет [5]. Гранодиориты, секущие сиениты Сяргозерского массива возрастом 2,73 млрд. лет [9], близки по времени образования умеренно-щелочным массивам

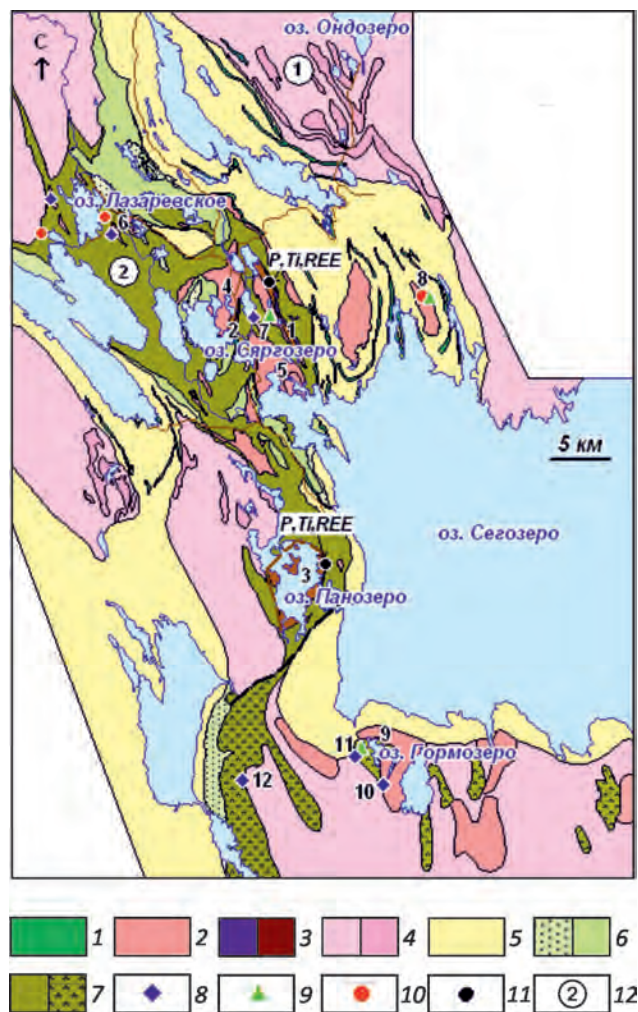


Рис. 1. Схема геологического строения Ондозерско-Сегозерской площади. Составлена с использованием результатов геологической съемки масштаба 1:50 000, по В.А.Ганину и А.П.Бондареву, 1983:

1 – габбродолериты (PR_1); 2 – граниты (AR_2 , ~2,73 млрд. лет); 3 – умереннощелочной дифференцированный комплекс: а – пироксениты, б – монцониты, сиениты, ~2,74 млрд. лет; 4 – нерасчлененный комплекс синтетектонических гранитоидов: а – диориты, гранитогнейсы, б – К-граниты, мигматит-граниты, ~2,7 млрд. лет; 5 – нерасчлененные отложения ятулийского надгоризонта (PR_{jt}); 6 – сумийско-сариолийский надгоризонт (PR_{sm-sr}): а – конгломераты, б – андезит-базальты; 7 – лопийский надгоризонт (AR_{lp}), зеленокаменные породы возрастом: а – 2,84–2,71 и б – 3,05–2,86 млрд. лет; рудопоявления: 8 – Мо, 9 – полиметаллические (Pb-Zn-Cu, Bi-Au-содержащие), 10 – золотосодержащие, 11 – Р-Ті-РЗЭ, Cu-Pt-содержащие; 12 – геологические структуры (1 – Ондозерский блок, 2 – Сегозерско-Лазаревская структура); номера объектов массивов и рудопоявлений: 1 – Шаравалампи (проявление Шалговаара), 2 – Сяргозерский, 3 – Панозерский, 4 – Северо-Сяргозерский, 5 – Устьволомский, 6 – проявление Лазаревское, 7 – проявление Тухозеро, 8 – Лебедева гора (проявление Лебедевогорское), 9 – массив Гормозерский (проявления: 10 – Гемми-лампи, 11 – Бергаул), 12 – Сельги

1. Возраст интрузивного магматизма Ондозерско-Сегозерской площади

Массив, район	Порода	Возраст (млн. лет)	Источник
Ондозерско-Сегозерская площадь, северная часть; район оз. Ондозеро, ИЩ массивы	Палингенные граниты	2720±40	19
	Диориты	2780±30	19
	Гнейсо-тоналиты	2687±11÷31	15
Сяргозерский УЩ комплекс	Сиенит	2735±14; 2738±12	9
ИЩ массивы, секущие Сяргозерский комплекс	Гранодиориты	2734±15	9
Панозерский УЩ массив	Монцониты-3, кварцевые монцониты	2736±4	17
	Монцониты-2	2727±4; 2739±11; 2741±12	17, 22
	Монцониты-1	2737±11; 2752±26	17, 22
Западно-Хижьярвинский УЩ массив	Пироксениты	2748±13	9
	Лейкосиениты	2744±4	9
	Сиенит	2740±4	9
Южная часть площади; Гормозерский ИЩ и УЩ массивы	Граниты	–	
	Гранодиориты	2730±17	11

Примечание. ИЩ – известково-щелочной, УЩ – умереннощелочной.

дифференцированного комплекса. Более древних по возрасту интрузий не установлено.

В пределах Ондозерского блока, ограничивающего с востока Сегозерско-Лазаревскую зеленокаменную структуру, также не выявлено интрузивных пород древнее чем 2,78 млрд. лет (см. табл. 1). Однако в осадки, по которым образовалась гранитогнейсовая толща, попадают и более древние ксеногенные цирконы, на что указывает их более древний модельный Sm-Nd-возраст (2,8–2,9 млрд. лет) [1].

Южнее оз. Сегозеро наиболее древние крупные массивы представлены тоналитами и трондьемитами, имеющими возраст 3,1–2,99 млрд. лет и древний Sm-Nd модельный возраст. Они фиксируют краевую часть Водлозерского блока – наиболее «древнее ядро» Фенноскандинавского щита (рис. 2) [1]. Кислый и средний вулканизм бергаульской свиты в этой части площади завершается внедрением небольших интрузий известково-щелочных гранитов, имеющих возраст ~2,88–2,83 млрд. лет (массивы Кармасельгский, Остер), и более поздних посттектонических массивов порфиоровидных К-гранитов (Гейне-оя, Хижозерский) юго-восточнее оз. Сегозеро возрастом 2,7–2,68 млрд. лет [10, 15]. Порфиоровидные граниты сопровождаются метасоматическими изменениями, отвечающими условиям грейзенизации–серцитизации, полиметаллическим и молибденовым оруденениями, в некоторых массивах золотосодержащими.

Петрографические и петрохимические особенности интрузивного магматизма северной части Ондозерско-Сегозерской площади. Среди интрузивных пород, прорывающих лопийские зеленокаменные толщи северной части Ондозерско-Сегозерской площади, можно выделить две серии: 1 – дифференцированные умереннощелочные массивы (Сяргозерский, Шаравала-

лампи, Панозерский) и 2 – массивы порфиоровидных гранитов Устьволомского комплекса (Устьволомский, Северо-Сяргозерский, Восточно-Шаравалампинский). Они близки по времени внедрения, однако имеют петрохимические и геохимические отличия, разную металлогеническую специализацию и связанные с ними рудопроявления.

Умереннощелочной комплекс в пределах изучаемой площади включает массивы Шаравалампи и Сяргозерский Сяргозерского комплекса и Панозерский плутон, дифференцированные от пироксенитов до сиенитов. Изучением этого комплекса занимались многие исследователи: Г.О.Глебова-Кульбах, В.В.Иваников, В.Д.Слюсарев и др. Высокомagneзиальные умереннощелочные породы комплекса, обогащенные щелочами, Cr, Ni, Ba, Sr, P, отнесены к санукитоидной серии [4–6, 20, 23]. Интрузии комплекса образуют вытянутые многофазные тела (Шаравалампи, Сяргозерский) или массивы центрального типа (Панозерский), которые прорывают лопийские метабазалты и биотит-амфиболовые сланцы.

Массив Шаравалампи (рис. 3) включает три магматические фазы: 1 – пироксениты и габбро, 2 – диориты и 3 – сиениты и кварцевые сиениты. Габбро-пироксениты прослеживаются на расстоянии до 3,5 км и имеют мощность 80–300 м. Они также встречаются в ксенолитах среди сиенитов поздней фазы. Породы содержат вкрапленность титаномагнетита, титанита, халькопирита и хорошо выделяются в магнитном поле. Массив секут аплитовидные дайки северо-восточного простирания и жилы альбититов. Внедрение каждой из последующих фаз комплекса сопровождается метасоматическими изменениями, которые протекали в несколько стадий и представлены [4]: 1 – автотметасоматической амфиболитизацией габбро-пироксенитов 1-ой фазы

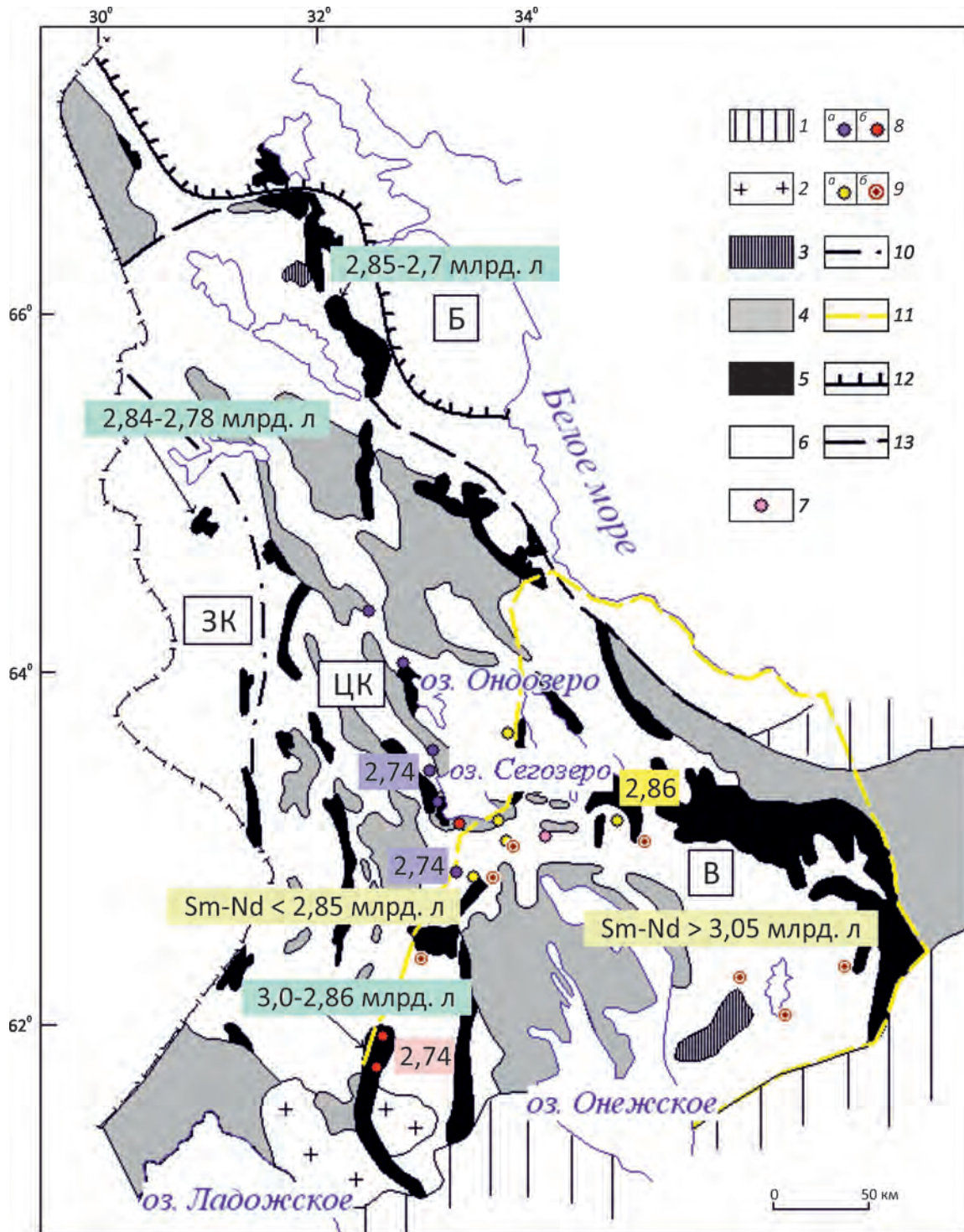


Рис. 2. Возрастные группы умереннощелочных и известково-щелочных массивов центральной Карелии. По работе [1]:

1 – платформенный чехол; 2 – граниты-рапакиви (PR₂, R); 3 – интрузии мафитов (PR₁); 4 – осадочно-вулканогенные толщи (PR₁); 5 – зеленокаменные пояса (AR₂); 6 – гранитоиды (AR); массивы: 7 – умереннощелочные граниты (~2,7 млрд. лет), 8 – санукитоиды (~2,74 млрд. лет): а – пироксенит-монцонит-сиенитового и б – монцодиорит-граносиенит-монцогранитового и гранодиоритового составов; 9 – древние ТТГ-граниты: а – 2,88–2,86 и б – 3,31–2,9 млрд. лет; границы доменов: 10 – западного и 11 – Водлозерского; названия доменов: ЗК – Западно-Карельский, ЦК – Центрально-Карельский, В – Водлозерский; граница: 12 – Беломорского домена (Б) и 13 – Беломорского подвижного пояса; цифрами показан возраст массивов, зеленокаменных поясов и модельный Sm-Nd для доменов



Рис. 3. Схема геологического строения района оз. Сяргозеро. С дополнениями, по работе [18]:

1 – метабазальты; 2 – черные сланцы, 3 – амфиболизированные габбро; 4 – гранодиориты-плагиограниты; 5 – Сяргозерский комплекс: а – пироксениты, б – диориты, габбро-диориты, в – сиениты, кварцевые сиениты; 6 – аплитовые лейкограниты; 7 – четвертичные отложения, 8 – дайки умереннощелочных кварцевых диоритов и диорит-гранодиоритовых плагиопорфиров (а), разломы (б); 9 – альбититы; 10 – полиметаллическая (а) и молибденовая (б) минерализация, точки отбора образцов (в); 11 – элементы залегания; массивы: 1 – Шаравалампи, 2 – Сяргозерский, 3 – Северо-Сяргозерский, 4 – Устьволомский, 5 – Восточно-Шаравалампинский

(пироксениты содержат вкрапленность титаномагнетита и сульфидов 1–4%). 2 – щелочным метасоматозом (калишпатизация, биотитизация), развивающимся по породам 1-й фазы и сопровождающим внедрение сиенитов 3-й фазы. Со 2-й стадией связано образование подщелоченного амфибола, Ва-К-полевого шпата, альбита, флогопита, апатита и титанита (Р-Тi-рудной минерализации с редкоземельными элементами). 3 – образование альбититов и поздних эпидот-кварцевых жил. Жилы альбититов секут породы всех фаз.

Сяргозерский массив представлен габбро-пироксенитами, средне-, крупно- и гигантозернистыми порфиroidными сиенитами, протягивающимися от восточного берега оз. Сяргозеро до оз. Торосозеро (см. рис. 3).

Панозерский массив овальной формы и размером 7×4 км обнажен по берегам оз. Панозеро (см. рис. 1). Массив представляет собой многофазную интрузию центрального типа, сформировавшуюся в несколько импульсов в пределах небольшого отрезка времени – 2,74–2,73 млрд. лет (см. табл. 1). В каждой из последующих фаз встречаются многочисленные ксенолиты более ранних фаз внедрения и вмещающих пород [2]. В северо-восточной части массива развита наиболее ранняя фаза пироксенитов.

Петрографо-петрохимические особенности пород. Пироксениты и габбро 1-й фазы Сяргозерского комплекса представляют собой массивные средне- и крупнозернистые породы. Наименее измененные пироксениты содержат (в %): диопсид 70–85, ильменит и магнетит 5–10, F-апатит 3–10, титанит 5–15, акцессорные циркон, алланит, Се-эпидот. Вторичные минералы в них представлены темно-зеленой роговой обманкой до 10–80%, актинолитом, эпидотом. Пироксениты часто подвержены амфиболизации. Метагаббро содержат плагиоклаз до 50–60%, замещенный альбитом и цоизитом, роговую обманку и биотит, вкрапленность магнетита, титанита. С габбро-пироксенитами массива Шаравалампи связаны апатит-магнетит-титанитовые небогатые вкрапленные руды, образующие залежь протяженностью ~1,5 км при мощности 10–60 м. Содержание Ti-Fe-минералов в рудных горизонтах невысокое и составляет около 20%. К этим же рудным горизонтам приурочены минералы, содержащие редкоземельные элементы – алланит, Се-эпидот, апатит и титанит, а также вкрапленность халькопирита. Для пироксенитов с бедной халькопиритовой минерализацией характерны повышенные содержания элементов платиновой группы.

Диориты 2-й фазы состоят (в %): из бледно-зеленого порфиробластического амфибола 30–40, олигоклаза 30–45, биотита 5–10, титанита 1–3 и апатита. При изменении пород плагиоклаз замещается альбитом и цоизитом.

Сиениты и кварцевые сиениты 3-й фазы красноватого и светло-розового цвета, средне- и крупнозернистой структуры. Сиениты Сяргозерского массива выделяются гигантозернистой порфиroidной структурой с вкрапленниками калиевого полевого шпата до 5 см. Содержание темноцветных минералов варьирует от 5 до 30%. Породы сложены преимущественно (в %): полевыми шпатами до 60–80, содержащими микроклин, анортотлаз, альбит, диопсидом 5–7, роговой обманкой 10–15, актинолитом 2–12, эпидотом 1–5, биотитом 1–2, титанитом 2–3, апатитом 2–3, ильменитом и магнетитом 1–2. Акцессорные минералы представлены цирконом, алланитом, Се-эпидотом. В кварцевых сиенитах содержание кварца достигает 7–10%.

Внедрение дифференциатов поздней фазы сопровождается интенсивной амфиболизацией и эпидотизацией пироксенитов и габбро, которые обогащаются апатитом и титанитом, биотитом-флогопитом,

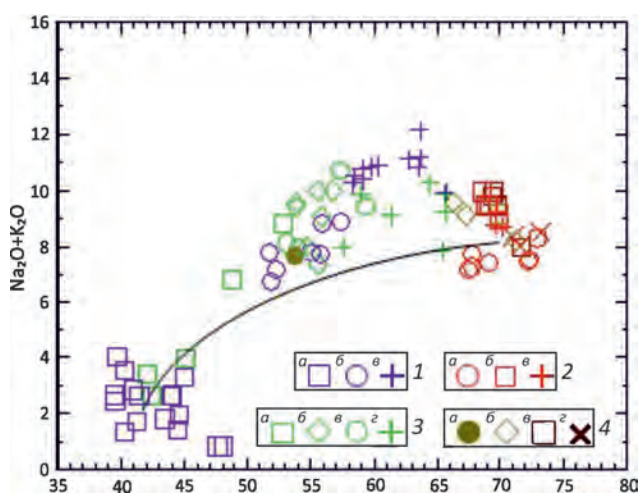


Рис. 4. Диаграмма $SiO_2-(Na_2O+K_2O)$ для пород дифференцированных умереннощелочных комплексов и гранитоидов Ондозерско-Сегозерской площади:

1 – Сяргозерский умереннощелочной комплекс: а – пироксениты, габбро, б – диориты, в – сиениты, кварцевые сиениты; 2 – гранитоиды Устьволомского комплекса: а – плагиограниты, массив Восточно-Шаравалампинский, б – гранодиориты, массив Северо-Сяргозерский, в – гранодиориты, массив Устьволомский; 3 – Панозерский умереннощелочной комплекс: а – пироксениты, монцогаббро, б – монцониты 1-й фазы, в – монцониты 2-й фазы, г – монцониты 3-й фазы; 4 – Гормозерский массив: а – диориты, б – гранодиориты, в – гранит-порфиры, г – гранит-аплиты

Ва-содержащим К-полевым шпатом, более поздними альбитом, баритом и TR-F-карбонатами.

Содержание SiO_2 в породах комплекса увеличивается от 40–45% (в пироксенитах) до 64,4% (в кварцевых сиенитах). С возрастанием кремнезема сумма щелочей повышается от 1,6 в пироксенитах до 11,4% в гигантозернистых сиенитах (табл. 2, рис. 4). Магнезиальность пород (mg#) при этом снижается от 0,6 до 0,41. Составы пород комплекса формируют единые эволюционные тренды, что подтверждает их генетическую связь и фракционный характер кристаллизации. С увеличением содержания кремнезема уменьшается концентрация TiO_2 , FeOт, MgO, CaO, P_2O_5 . Отклонения составов могут быть связаны с неоднородным распределением кумулусных фаз и наложением поздних процессов.

Пироксениты с рудной минерализацией участка Шаравалампи содержат (в ppm): V 270–417, Cr 83–703, обогащены РЗЭ (с преобладанием элементов La-Ce-группы), Y до 74,3, Zr 74–278, Nb 14–30,2. Содержание Sr в пироксенитах составляет 627 ppm, в измененных разностях возрастает до 1668–2750 ppm. Концентрация Ва достигает 3132 ppm в калишпатизированных породах и биотитизированных пироксенитах. Более высокие,

чем в сиенитах содержания Nb (14–30 ppm) и Ta коррелируются с Ti (приурочены к титанитовой минерализации). В породах с халькопиритовой минерализацией увеличивается содержание Cu, Ni, Co, Pb.

Сиениты отличаются наиболее высокими или повышенными концентрациями редких и редкоземельных элементов (в ppm): Sr 1390–2234, Ba 1740–2800, Y 12–26, Σ РЗЭ 332–453. Содержания Ва и Sr контролируются присутствием К-полевого шпата и присутствием более поздних вторичных сульфатов (барита, стронциобарита, целестина). Концентрации в них составляют (в %): Nb 8–13, Zr 51–224, Cu 15–114, Th 6–13 и снижаются в породах поздних фаз других рудогенных элементов – близко к кларкам для соответствующего типа пород.

Таким образом, все разновидности пород Сяргозерского комплекса характеризуются высоким содержанием Ва, Sr, РЗЭ, особенно легких (рис. 5). С увеличением SiO_2 концентрация редких земель снижается до 270 ppm, что возможно при фракционировании постоянной ассоциации минералов-концентраторов РЗЭ. Степень фракционирования $(La/Yb)_N=23-52$, отношение Rb/Sr $\ll 1$.

Устьволомский комплекс объединяет массивы порфировидных гранитоидов (см. рисунки 1 и 2). К ним относятся более крупные Устьволомский и Северо-Сяргозерский массивы и ряд небольших массивов – Восточно-Шаравалампинский, Лебедева Гора и район оз. Лазаревское.

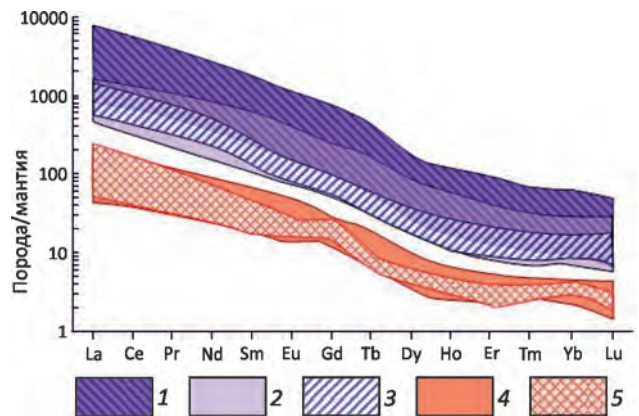


Рис. 5. Распределение РЗЭ в породах дифференцированных умереннощелочных комплексов и гранитоидах Ондозерско-Сегозерской площади:

1–3 – Санукитоидная серия: 1 – Сяргозерский умереннощелочной комплекс (пироксениты, диориты, сиениты), 2 – Панозерский массив (пироксениты, монцогаббро, монцониты), 3 – Гормозерский массив, западная часть (диориты, гранодиориты); 4–5 – ТТГ-серия: 4 – Северо-Сяргозерский, Устьволомский, Восточно-Шаравалампинский массивы (гранитоиды), 5 – Гормозерский массив, центральная часть (гранит-порфиры, гранит-аплиты)

2. Химический состав интрузивных пород Ондозерско-Сегозерской площади (в массовых долях %, ppm)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂ (%)	41,26	44,72	41,56	43,98	39,91	53,74	52,54	54,34		59,72	59,14	58,47
TiO ₂	1,94	1,64	1,94	2,28	1,89	0,95	1,06	0,76		0,68	0,71	0,88
Al ₂ O ₃	4,79	5,24	7,43	7,97	4,84	12,87	15,04	14,72		16,33	15,78	15,54
Fe ₂ O ₃	10,15	12,03	9,6	9,41	9,28	5,6	3,32	2,70		3,78	3,35	4,27
FeO	9,48	2,94	7,68	8,62	9,25	4,45	5,17	5,13		2,29	2,87	2,22
MnO	0,331	0,34	0,324	0,351	0,24	0,155	0,152	0,17		0,097	0,1	0,12
MgO	10,48	10,57	10,26	7,9	12,09	2,79	6,53	6,39		1,8	2,28	1,45
CaO	16,13	18,13	15,24	13	15,27	7,99	5,75	5,81		3,77	4,29	5,97
Na ₂ O	0,88	1,33	1,02	1,34	0,51	3,44	5	4,48		6,69	6,12	5,63
K ₂ O	0,67	0,52	1,41	1,11	1,38	5,25	2,58	2,86		3,46	3,97	4,08
ппп	1,77	1,09	1,9	2,63	2,19	1,48	1,7	1,51		0,69	0,65	0,68
P ₂ O ₅	1,27	1,3	1,4	0,84	2,53	0,66	0,8	0,5		0,31	0,33	0,5
Сумма	99,57	99,99	99,94	99,56	99,81	99,58	99,75	99,73		99,87	99,78	99,90
mg#	0,5	0,56	0,53	0,45	0,56	0,35	0,59	0,60		0,36	0,41	0,27
alk	1,55	1,85	2,43	2,45	1,88	8,69	7,58	7,34		10,15	10,09	9,71
Na ₂ O/K ₂ O	1,31	2,56	0,72	1,21	0,47	0,66	1,94	1,57		1,93	1,54	1,38
al'	0,16	0,21	0,27	0,31	0,16	1	1	1,03		2,07	1,86	2,0
Rb (ppm)	24,01	20,36	58	30,56		83,12	78,74		104,4	28,23	57,34	87,9
Sr	627,2	1060	1702	1363		1668	1024,61		803,3	2234	1691	1612,7
Y	59,18	74,34	65,63	71,22		29,6	37,73		13,56	23,58	20,55	24,54
Zr	99,24	105,9	84	277,9		73,65	165,58		52,13	102,7	50,63	192,7
Nb	15,69	22,88	13,81	30,24		2,02	26,86		6,45	11,27	10,02	13,08
Pb	5,77	8,09	10,95	11,47		12,5	9,05		7,87	15,28	10,88	13,9
Th	14,88	17,96	12,1	47,21		6,02	12,4		3,31	9,89	9,36	9,5
U	1,94	1,18	0,81	2,43		0,59	1,23		0,91	0,66	0,77	0,97
Ba	96,97	120,3	140,7	248,5		3132	1231		1311	2378	2375	1943
Cr	116,9	83,21	132,2	119,3		71,51	21,39		472,7	33,89	56,25	44,55
Ni	69,18	66,33	89,04	73,89		30,71	21,04		202,8	21,95	32,61	30,22
Co	59,44	44,81	54,02	50,17		25,63	20,37		38,81	11,26	14,2	17,5
V	417	268,9	317,1	332,1		167	150,32		182,4	88,87	109,4	122
Cu	32,72	702,1	90,8	31,17		127,6	114,11		26,84	25,27	15,04	109,2
Ta	0,87	1,7	0,78	1,74		0,1	3,15		0,29	0,62	0,54	1,04
ΣPЗЭ	195	1347	1246	1459		539	825		316	378	347	446,5
(La/Yb) _N	34,97	51,33	33,36	35,31		13,12	34,1		33,59	24,91	23,05	37,72
№ обр.	Ша-424	Ша-5	Ша5/1	Ша-419		Ша-420	Ша-7			Ша-416	Ша-417	
n	1	1	1	1	2	1	1	3	1	1	1	2

Продолжение табл. 2

Компоненты	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
SiO ₂ (%)	63,68	64,44	63,62	60,36	62,74	67,52	69,15	68,96	69,22	68,56	68,9	70,16	69,58
TiO ₂	0,52	0,42	0,54	0,62	0,48	0,4	0,3	0,21	0,23	0,27	0,25	0,3	0,3
Al ₂ O ₃	16,15	15,97	16,4	15,84	14,89	15,71	15,02	15,32	15,57	15,54	15,72	15,98	15,13
Fe ₂ O ₃	2,05	1,62	2,04	2,9	1,94	1,51	0,8	1,37	1,16	1,53	1,83	0,52	1,05
FeO	1,87	2,15	1,51	3,08	1,87	1,8	1,93	0,86	0,86	0,72	0,65	0,86	1,15
MnO	0,066	0,066	0,074	0,111	0,072	0,041	0,039	0,032	0,03	0,032	0,028	0,024	0,04
MgO	1,42	1,45	1,31	2,38	1,67	1,64	1,1	0,94	0,73	0,73	0,78	1,02	1,04
CaO	2,53	2,66	2,39	3,62	3,4	2,97	3,4	2,37	2,37	2,37	2,19	1,33	1,92
Na ₂ O	6,96	6,35	6,67	6,02	5,66	4,61	4,99	5,76	5,89	5,8	5,6	5,26	5,14
K ₂ O	3,5	4,23	4,72	4,21	4,79	2,08	1,97	3,11	2,97	3,48	2,92	2,92	3,11
ппп	0,81	0,4	0,34	0,48	1,73	1,31	1,1	0,57	0,49	0,56	0,66	1,48	0,8
P ₂ O ₅	0,29	0,17	0,32	0,26	0,26	0,19	0,05	0,11	0,16	0,19	0,11	0,01	0,11
Сумма	100	100	99,98	99,99	99,66	99,99	100	99,77	99,85	99,93	99,73	99,98	99,54
mg#	0,41	0,42	0,41	0,43	0,45	0,48	0,42	0,44	0,41	0,38	0,38	0,58	0,47
alk	10,46	10,58	11,39	10,23	10,45	6,69	6,96	8,87	8,86	9,28	8,52	8,18	8,25
Na ₂ O/K ₂ O	1,99	1,5	1,41	1,43	1,18	2,22	2,53	1,85	1,98	1,67	1,92	1,8	1,65
al'	3,02	3,06	3,37	1,89	2,72	3,17	3,92	4,83	5,66	5,21	4,82	6,66	4,67
Rb (ppm)	62,86	43,03	72,58	52,03	52,54	62,26	38,71	33,75	56,67	56,67		60,05	51,84
Sr	1040,6	663,4	1394,6	1445	746,8	645,4	476,8	1013	1050	1151		236,6	596,5
Y	11,29	8,41	12,22	16,57	13,84	5,14	4,84	3,04	3,66	4,11		2,9	4,17
Zr	143,38	77,57	99,06	122,6	44,44	50,3	52,85	95,49	95,53	120,6		55,43	74,25
Nb	10,02	6,25	8,38	8,267	7,93	2,17	2,48	3,61	3,67	4,57		3,07	3,02
Pb	63,28	7,9	15,94	14,93	6,39	8,06	6,8	8,27	10,25	15,64		3,71	8,52
Th	12,97	9,14	8,08	8,42	4,51	1,74	4,22	3,76	4,54	4,37		4,85	4,33
U	3,68	0,38	1,2	0,66	1,13	0,31	0,46	0,73	0,89	1,11		0,38	1,05
Ba	1972	1412	1986	2103	2802	854	676	1547	1458	1645		943	1327
Cr	33,16	29,34	28	51,2	39,12	33,64	55,32	26,85	26,48	17,53		45,4	27,46
Ni	19,65	19,73	17,03	30,46	25,94	27,96	40,44	15,85	15,18	8,705		20,62	13,68
Co	8,51	5,53	8,26	12,59	9,41	9,48	7,91	3,2	3,92	3,22		2,58	4,74
V	63,52	38,88	64,2	94,78	57,94	46,68	34,1	22,29	21,07	21		27,19	30,49
Cu	10,58	4,08	31,42	24,13	13,08	10,83	11,68	11,73	10,18	11,27		9,01	4,25
Ta	0,68	0,29	0,66	0,35	0,38	0,18	0,17	0,16	0,17	0,22		0,17	0,16
∑PЗЭ	297	155	333	339	274	80,2	15,2	41,2	75	76,1		28	49,3
(La/Yb) _N	52,3	26,36	51,92	31,88	34,63	31,25	19,77	7,49	21,34	35,7		9,1	11,76
№ обр.	Ш-11	Ша-11	Ш-9	Ша-9	С-434	Ш-1	Ша-1	С-431	С-431/1	С-432	250	438	439
n	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Примечание. 1–17 – дифференцированный пироксенит-сиенитовый Сяргозерский комплекс: массив Шаравалампи: 1–5 – пироксениты, 6 – калишпатизированный пироксенит, 7 – измененное габбро, 8–9 – диорит, 10–12 – сиениты; массив Сяргозерский: 13–14 – кварцевый сиенит, участок Торосозеро; 15–17 – гигантозернистый сиенит, участок Сяргозеро; Устьволомский гранодиорит-гранитный комплекс: 18–19 – плагиограниты, массив Восточно-Шаравалампинский; 20–23 – порфириовидные гранодиориты, массив Северо-Сяргозерский; 24–25 – порфириовидные гранодиориты, массив Устьволомский; n – число анализов; пустая клетка – не определялись.

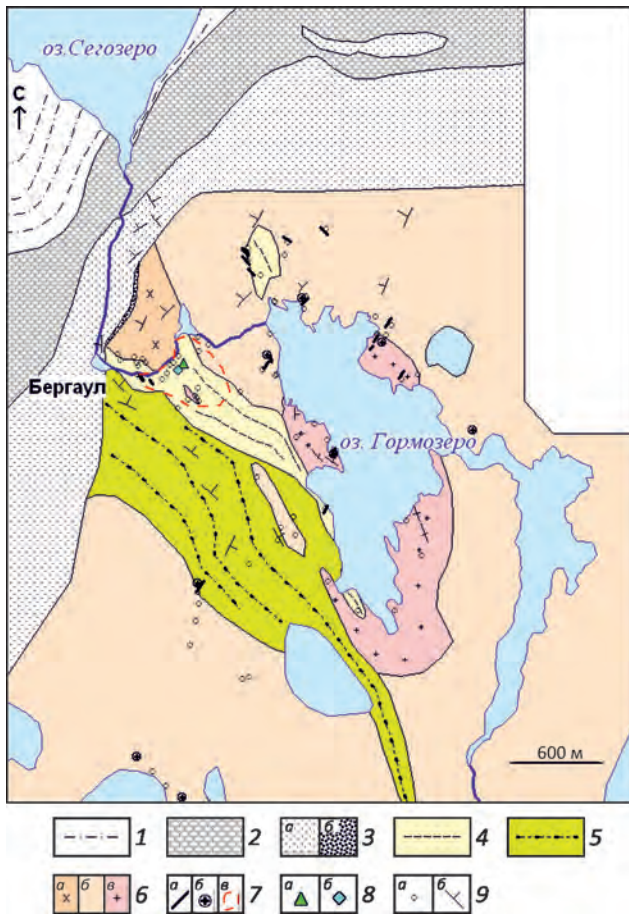


Рис. 6. Схема геологического строения Гормозерского массива. По материалам Л.В.Кулешевич и В.А.Костина:

1–3 – Ятулийский надгоризонт, PR₁jt: 1 – аргиллиты, песчаники, 2 – базальты, 3 – кварциты, кварцевые конгломераты (а), кора выветривания (б); 4–5 – Лопийский надгоризонт (AR₂pr): 4 – сланцы по кислым туфам, черным сланцам, прослои коматиитобазальтов и колчеданных руд, 5 – амфиболиты по базальтам; 6–7 – Гормозерский массив: 6 – гранодиориты (а), порфиоровидные Na-K-граниты (б), K-граниты (в), 7 – дайки и малые тела аплитов (а), пегматиты (б), грейзенизация, серицитизация (в); 8 – рудопроявление Бергаул: а – колчеданное, б – Cu-Zn-Pb-Mo; 9 – точки отбора образцов (а), элементы залегания (б)

Северо-Сяргозерский массив (размером 5×7 км) расположен севернее одноименного озера (см. рисунки 1 и 2). Породы массива представлены розовато-серыми, крупнозернистыми, порфиоровидными лейкократовыми гранодиоритами. Основная масса сложена (в %): плагиоклазом 45–50, микроклином 20–25, кварцем 25, биотитом 1–2. Порфиоровидные вкрапленники калиевого полевого шпата достигают 0,5–1 см. Акцессорные минералы представлены титанитом, цирконом, единичными сульфидами. Изменения пород выражены в

эпидотизации и серицитизации плагиоклаза (эпидот до 4 и серицит до 1–2%).

Устьволомский массив подобен Северо-Сяргозерскому и сложен крупнозернистыми, порфиоровидными, иногда катаклазированными лейкократовыми гранодиоритами, содержащими (в %): плагиоклаз 40–45, микроклин 25–30, кварц 25–30, биотит 4, акцессорный титанит. Вкрапленники представлены плагиоклазом и микроклином. Породы безтитизированы, в них встречаются прожилки кварца, и по микротрещинам развиваются эпидот, биотит, серицит, кальцит, титанит, пирит, в северной части массива встречаются молибденит, халькопирит, галенит.

Восточно-Шаравалампинский массив сложен среднезернистыми порфиоровидными плагиогранитами, содержащими (в %): плагиоклаз 60–65, кварц ~25, амфибол 2–4, биотит 2–3 и титанит 1–2. Вкрапленники плагиоклаза (10–15%), замещаются эпидотом (2–3%) и серицитом (2–3%). По микропрожилкам развиваются эпидот, биотит, амфибол и титанит.

Петрохимические особенности пород. Гранодиориты содержат SiO₂ 68,5–70,2%, имеют несколько повышенную сумму щелочей – 8,2–9,3% (Na₂O>K₂O). В гранитах содержание кремнезема увеличивается от 67,5 до 73% при сумме щелочей 6,7–7,7% (см. рис. 3). В гранодиоритах и гранитах Устьволомского комплекса магнезиальность (mg# < 0,5) ниже, чем в породах санукитоидной серии. От умереннощелочного Сяргозерского комплекса они отличаются низким суммарным содержанием РЗЭ (15–80 ppm). Спектры распределения редких земель соответствуют ТТГ-комплексам, обедненным тяжелыми РЗЭ (см. рис. 5), степень фракционирования La/Yb_N=10–30. В породах Устьволомского комплекса содержание всех когерентных, некогерентных (Ba-Sr) и рудогенных элементов гораздо ниже, чем в породах Сяргозерского комплекса.

Петрографические и петрохимические особенности интрузивного магматизма южной части Ондозерско-Сегозерской площади. Гормозерский массив (размер 3×7 км) порфиоровидных гранитов прорывает более древние вмещающие лопийские толщи юго-западнее оз. Сегозеро (см. рисунки 1 и 6). Он представлен гранодиоритами и крупнозернистыми порфиоровидными Na-K и K-гранитами, прорывается дайками аплитов и жилами пегматитов. В экзоконтакте массива расположено колчеданное и молибден-полиметаллическое (Pb-Zn-Cu-Mo) рудопроявление Бергаул.

Массив сложен розовато-серыми порфиоровидными Na-K-гранитами, которые в центральной части сменяются светло-розовыми порфиоровидными преимущественно K-гранитами. Порфиоровидные граниты содержат: микроклин 20%, выделяющийся в виде крупных кристаллов размером до 3 см, кварц 25%, плагиоклаз 50–52%, биотит 3–5%. В высококалийевых гранитах содержание микроклина возрастает до 35–40%, присутствуют (в %): плагиоклаз 30–35, кварц 25–27, биотит 2

3. Химический состав интрузивных и вмещающих пород южной части Ондозерско-Сегозерской площади, участок Бергаул (в массовых долях %, ppm)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂ ,%	66,24		69,60	69,86	74,54	73,28	70,90	71,64	46,39	56,38	69,72	60,92
TiO ₂	0,34		0,18	0,18	0,09	0,14	0,10	0,18	0,39	0,12	0,33	0,82
Al ₂ O ₃	16,49		15,10	16,16	13,57	14,66	15,71	15,19	8,38	13,88	15,66	16,28
Fe ₂ O ₃	1,40		1,61	1,01	0,48	1,15	0,99	0,43	1,65	1,35	1,61	2,20
FeO	0,93		0,94	0,57	0,82	0,43	0,57	1,08	8,05	6,07	1,08	3,02
MnO	0,040		0,023	0,035	0,025	0,019	0,037	0,029	0,201	0,115	0,06	0,084
MgO	1,64		0,91	0,70	0,26	0,72	1,64	0,92	21,70	12,44	1,92	2,66
CaO	2,52		1,21	1,97	0,90	1,12	1,00	1,68	7,95	1,40	0,54	3,76
Na ₂ O	5,13		5,16	5,32	4,05	5,53	6,91	5,98	0,47	0,97	3,21	4,61
K ₂ O	3,87		4,15	3,49	4,65	2,45	0,90	1,47	0,04	1,22	3,37	3,06
H ₂ O	0,18		0,04	0,08	0,06	0,21	0,06	0,06	0,11	0,27	0,10	0,20
Ппп	0,97		0,80	0,40	0,44	0,58	1,25	1,14	4,12	5,29	2,09	1,53
P ₂ O ₅	0,18		0,09	0,10	0,04	0,07	0,08	0,08	0,05	0,02	0,16	0,61
Сумма	99,93		99,81	99,88	99,93	100,36	100,15	99,88	99,50	99,53	99,85	99,75
S	0,03		0,024	0,015	0,02	0,11	0,01	0,06	0,19	0,06	0,1	0,003
alk	9,0		9,31	8,81	8,7	7,98	7,81	7,45	0,51	2,19	6,58	7,67
Na ₂ O/K ₂ O	1,33		1,24	1,52	0,87	2,26	7,68	4,07	11,75	0,80	0,95	1,51
al ⁺	4,15		4,36	7,09	8,70	6,37	4,91	6,25	0,27	0,70	3,40	2,07
A/CNK	1,10		1,07	1,13	1,08	1,15	1,19	1,17	1,04	3,31	1,66	1,14
mg#	0,57		0,41	0,46	0,27	0,47	0,67	0,53	0,80	0,75	0,58	0,49
Li (ppm)	43,87	46,03	27,98	46,0		37,77	28,74	36,94	37,61	153		
Be	2,52	2,47	1,51	1,56		2,10	3,77	2,86	0,45	0,93		
V	но	477	195	257		447	244	но	93	43		
Cr	51,93	61,78	70,24	58,86		96	83,1	35,45	2164	210		
Co	3,37	3,47	3,91	2,99		3,68	4,32	2,83	66,9	46,61		
Ni	29,31	27,57	31,58	22,39		38,05	41,66	17,11	614,8	235,2		
Cu	8,37	9,18	9,77	5,26		29,31	7,16	8,16	4,54	2,15		
Zn	79,42	39,90	78,45	85,38		168,2	38,2	77,01	248,6	300,4		
Ga	19,55	23,43	20,37	21,24		19,57	14,51	20,02	8,51	18,1		
As	но	327,32	55,27	54,13		70,12	34,54	но	но	но		
Se	3,22	13,73	12,47	9,75		12,58	9,42	но	но	0,27		
Rb	62,93	89,61	87,24	113,18		57,16	25,10	56,63	0,98	39,0		
Sr	793	1009	586	937		569	349	570	18,71	52,28		
Y	10,21	12,54	4,07	5,07		3,54	4,82	3,74	8,95	2,79		
Zr	118,72	102,16	58,39	69,52		57,08	64,5	64,84	12,86	37,62		
Nb	8,24	7,38	3,05	4,22		4,28	2,17	4,55	1,16	3,34		
Mo	0,74	0,62	0,94	0,70		1,43	0,70	2,02	0,63	3,44		
Cd	0,33	0,44	0,28	0,34		0,53	0,31	0,27	0,12	0,30		
Sn	1,22	1,48	0,92	1,06		0,81	1,07	0,42	0,38	0,35		
Sb	но	1,21	2,18	1,92		2,36	1,32	но	но	но		
Te	0,46	0,83	0,45	0,69		0,15	0,45	0,16	1,04	0,15		
Cs	4,34	4,75	2,25	4,49		1,98	1,31	7,71	0,11	2,24		
Ba	1736	2006	1771	2349		1364	319	902	9,26	695		
Hf	4,36	3,88	1,96	2,52		2,26	2,36	2,72	0,62	3,33		
Ta	0,93	0,48	0,27	0,52		0,56	0,08	0,44	0,26	1,06		
W	0,23	0,20	0,26	0,18		0,32	0,38	0,47	0,16	0,39		
Pb	14,61	19,68	8,42	18,42		50,16	10,68	9,05	1,95	6,52		
Bi	0,15	0,12	0,07	0,09		0,25	0,33	0,19	0,51	0,13		
Th	7,66	9,25	2,41	4,17		3,67	2,57	5,08	0,13	9,80		
U	2,61	3,65	0,42	1,06		2,97	0,89	2,08	0,27	10,52		
ΣРЗЭ	203,3	282,4	75,77	72,64		62,72	33,27	56,87	15,14	14,01		
(La/Yb) _N	22,32	31,65	22,31	17,24		17,08	6,66	12,36				
№ обр.	Б-19	Б-19а	7501/1	7501/3	К-гр	Б-15	5003	1156/5	5003/7	Б-9п	рд	анд
n	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	5	1

Примечание. Горнозёрский массив (1–8): 1–2 – гранодиориты (санукитоидная серия), 3–4 – граниты порфириовидные (ТТГ-серия), 5 – калиевые граниты, 6–8 – гранит-аплиты (дайки и малые тела); 9 – сланцы по коматиито-базальтам, 10 – дайки основного состава, 11–12 – сланцы по туфам кислого и среднего состава; пустая клетка – не определялись, n – число анализов.

и мусковит 1. В краевой западной части массива развиты среднезернистые розовато-серые гранодиориты.

Порфиоровидные граниты и вмещающие их толщи бергаульской свиты в западном и северном экзоконтактах массива секутся многочисленными жилами, дайками и небольшими телами гранит-аплитов поздней фазы. Многочисленное скопление даек установлено в краевых частях массива и на участке Бергаул. Аплитовые жилы имеют северо-западное (340°) и северо-восточное (70°) простирание, на месторождении Бергаул – преимущественно северо-восточное и мощность от 0,12 до 10 м (в среднем 1–2 м). По химическому составу они близки порфиоровидным гранитам (табл. 3, № 5–7), но имеют более натриевую щелочность, содержат альбит, кварц, биотит (3%) и в незначительном количестве калиевый полевой шпат.

Петрохимические особенности пород. Гранодиориты массива содержат SiO_2 в среднем 66,24% (см. рис. 4), имеют повышенную щелочность (Σalk до 9,0%), $\text{mg}\# = 0,57$, концентрации Ba, Sr, а также $\Sigma\text{PЗЭ} = 203$ ppm (см. табл. 3, № 1–2). Содержание SiO_2 в гранитах колеблется от 69,6 до 74,54%, $\text{mg}\# = 0,41$ –0,46 (см. табл. 3, № 3–4). Породы также выделяются повышенной $\Sigma\text{alk} = 8,7$ –9,31% (причем содержание K возрастает в центральной части массива), содержаниями Ba, Sr, но низкой $\Sigma\text{PЗЭ}$. Таким образом, по петрохимическим и геохимическим особенностям породы Гормозерского массива относятся к двум сериям гранитоидов (см. рисунки 4 и 5): ТТГ (гранит-порфиры, аплиты) и санукитоидная (гранодиориты).

В апикальной части массива над полого погружающейся кровлей на участке Бергаул кислые вмещающие лопийские толщи – метаморфизованные базальты, коматииты, сланцы по туфам кислого и среднего состава (см. табл. 3, № 9–12) и углеродсодержащие сланцы интенсивно изменены. По амфиболитам и коматиитобазальтам развиваются эпидозиты и скарноиды. Многочисленные дайки гранитов и гранит-аплитов грейзенированы. Количество тонкочешуйчатого мусковита в них увеличивается до 5–10%, в измененных сланцах возрастает содержание Li (до 153 ppm). Изменения пород сопровождаются молибденит-полиметаллической минерализацией [13].

Металлогенический анализ территории. Рудопроявления в вулканогенно-осадочных комплексах. На исследуемой площади с разновозрастными вулканогенно-осадочными толщами связаны два типа рудопроявлений: 1 – железистые кварциты и 2 – колчеданные руды, формировавшиеся в разных обстановках. Первые развиты в северо-западной части Ондозерско-Сегозерской площади – области континентального шельфа (подобны гимольскому разрезу Костомукшской структуры), вторые – в орогенной области на северо-западной окраине Водлозерского блока (подобны лопийскому разрезу с колчеданными рудами в Койкарской структуре центральной Карелии).

Железистые кварциты. К вмещающим полосчатым толщам гимольской серии в северо-западной части Ондозерско-Сегозерской площади приурочены небольшие рудопроявления биотит-грюнерит-магнетитовых кварцитов – Воломское и Тумбареченское. Эти небольшие железорудные объекты расположены западнее рассматриваемой в статье площади. Проявление Тумбареченское представлено маломощным пластом (1,2–2,6 м) вкраплено-полосчатых железистых кварцитов. Содержание $\text{Fe}_{\text{вал}}$ в рудах составляет 30–31,2%, S – до 0,11–0,2% (по скважине С-90). Прогнозные ресурсы категории P_1 составляют 16,15 млн. т [14]. Проявление Воломское расположено в среднем течении р. Волома. Залежь протяженностью 2,3 км (магнитная аномалия до 8 км) представлена вкрапленно-полосчатыми рудами. Мощность магнетитовых рудных горизонтов составляет 15–30 м. Содержание Fe в рудах составляет 22–36%, S 0,02–0,45% (в среднем 0,35%, по С-68–75). Ресурсы – 123,2 млн. т руды, запасы – 24 млн. т со средним содержанием Fe в руде 25,4% [14].

Колчеданные руды. В южной части площади к серицитовым и углеродсодержащим сланцам приурочены колчеданные руды проявления Бергаул (см. рис. 6, вблизи западного контакта с Гормозерским гранитным массивом). Руды сложены пирротином, в них присутствуют халькопирит, пирит, при окислении пирротин замещается марказитом. Серно-колчеданные залежи содержат Ni 825–930 ppm, Co 258–292 ppm, Cu 0,14–0,22% (табл. 4, № 1–3). В сланцах по туфогенно-осадочной толще (кислого–среднего состава) концентрации рудогенных элементов невысокие (фоновые, см. табл. 4, № 4–6). Незначительные их изменения сопровождаются сульфидной вкрапленностью (3–7%) с повышением концентрации Li, Pb, Zn (см. табл. 4, № 7–10). На колчеданные руды и вмещающие сланцы накладываются и более интенсивные изменения (грейзенизация, серицитизация), сопровождающие внедрение гранитов массива, в связи с этим все породы и колчеданы могут быть обогащены Mo и полиметаллами (см. табл. 4, № 11–13). В колчеданных рудах и вмещающих их сланцах с сульфидной вкрапленностью содержание Au составляет 0,008–0,22 г/т и не превышает 0,4 г/т (см. табл. 4, № 1–13 и табл. 5). Для колчеданного рудопроявления запасы составляют 1,46 тыс. т, при среднем содержании серы 10,6% (до 28,5%) ресурсы полиметаллов (Zn, Cu, Pb) и Mo не оценивались [14].

Рудопроявления, связанные с интрузивным магматизмом. С интрузивным магматизмом Ондозерско-Сегозерской площади, представленной умеренно-щелочным дифференцированным и порфиоровидным гранитоидным комплексами, связаны два типа рудопроявлений. К пироксенит-сиенитовым массивам приурочены Ba-Sr-PЗЭ-P-Ti-проявления с повышенными концентрациями благородных металлов, а к гранитоидными массивам – Mo-полиметаллические.

4. Содержание рудогенных элементов в колчеданных рудах, вмещающих толщах, гранитах и измененных породах участка Бергаул (в ppm)

№ п/п	№ обр.	Cr	Li	Co	Ni	Cu	Zn	Se	Mo	Te	Pb	Bi	Ag	Au	Pd
1	К-6/2	Ho	0,45	258	840	2125	0,1	29	2,5	1,3	3,4	0,18			
2	К-5/3	Ho	0,25	292	929	1402	6	44	4,3	0,9	17	0,39			
3	К-6/2Б	4	0,6	262	825	2212	8,5	12	2,3	0,85	3,1	0,25	1,52	0,05	0,05
4	1156/7	124	120	2	9	31	77	31	8	8,3	29	0,9	0,19	0,13	0,41
5	1156/7a	274	117	3	11	26	75	26	7	7,5	31	0,8	0,51	0,15	0,26
6	К-5/1Б	465	68	16,3	33	165	27	Ho	6,7	Ho	54	4	0,72	0,22	0,3
7	1156/8	255	1,1	3,2	49	8	6,7	Ho	5,5	1,03	41	0,6	Ho	0,14	0,14
8	К-2/1	175	54	10	35	68	19	6,7	1,6	0,3	44	1,3			
9	1156/4	68	35	3,7	33,7	12	66	0,1	17,5	Ho	40	1,6	0,30	0,14	0,39
10	1156/6	235	78	1,8	16	37	63	Ho	14	0,1	9,4	0,4	Ho	0,13	0,29
11	1156/1	52	93	52	238	222	19	3	676	Ho	23	1,8	1,1	0,15	0,39
12	1156/2	134	74	3	15	107	32	1,8	495	0,1	134	4,1	1,7	0,12	0,51
13	1156	23	37	5,2	23,5	41	24	Ho	950	0,85	21,3	0,4			
14	1156/3	76	41	37,3	127	179	74	15	882	22,4	15267	594	214,5	0,23	2,41
15	К-1/2	72	1,2	2,2	43	22	2,4	69,8	46,5	66,1	46885	747			
16	К-4/1	66	3,5	57,3	205	186	596	11,2	6,3	4,8	3347	46,1			
17	К-4/1a	52	2	16,6	36	54	Ho	3,9	11	0,7	299	8,3			
18	1156/5	35	37	2,8	17	8	77	Ho	2	0,16	9,05	0,19			
19	1152/3	208	5	19	261	15	103	Ho	1244	0,16	18,63	5,67	0,42	0,08	0,46
20	1152/4	893	15	30	241	9	151	Ho	150,4	Ho	13,37	6,31	0,19	0,07	0,23
21	1152/5	421	5	23	148	7,4	104	Ho	969,5	Ho	32,31	6,71	0,18	0,08	0,36
22	1152/6	1201	2	15,5	191	415	247	Ho	216	1,5	527	107			
23	К-6/3	809	2,8	46,3	181	94	176	Ho	7,8	0,8	119	5,1			

Примечание. 1–3 – колчеданы; 4–6 – серицит-углерод-содержащие сланцы; 7–10 – серицитовые сланцы с бедной сульфидной вкрапленностью; 11–13 – халькопирит-молибденитовая и 14 – молибденит-галенитовая минерализация в грейзенизированных сланцах; 15 – висмут-галенит-кварцевая жила; 16 – пирротин-сфалерит-галенитовая минерализация; 17 – риодацит с сульфидами на контакте с кварцевой жилой; 18 – гранит-аплит; 19–21 – скарноиды с молибденитом; 22–23 – скарноиды с вкрапленностью сульфидов (галенита, сфалерита, молибденита, пирротина); пустая клетка – элемент не определялся, Ho – ниже предела обнаружения.

Ba-Sr-P3Э-P-Ti оруденение представлено рудопроявлениями (Шалговаара, Панозерским). В амфиболитованных пироксенитах – породах 1-й фазы массива Шаравалампи установлены небогатые апатит-магнетит-титанитовые руды с ЭПГ. Содержание составляет (в %): P_2O_5 1,27–2,5, TiO_2 1,94–2,28, $\Sigma(FeO+Fe_2O_3)=18–20,7$, а V 270–417 ppm [4, 5, 18]. Рудная минерализация представлена магнетитом, ильменитом, титанитом (20%), F-апатитом, сульфидами (1–4%). В диоритах и сиенитах 2-й фазы магнетит, титанит и апатит являются аксессуарными. Оруденение оценивается как редкоземельно-редкометалльное с $\Sigma P3Э$ 1250–1460 ppm, Sr 1040–2234 ppm, Ba достигает 1970–2380 ppm. Концентраторами P3Э являются титанит, который содержит $\Sigma P3Э$ до 4,5%, апатит, алланит ($\Sigma P3Э$ 18,5%), Се-эпидот (Se_2O_3 7,3–8,6%), часто образующие зональные зерна, а также более поздние низкотемпературные F-карбонаты (паризит-бастнезитового ряда). Накопление Ba и Sr происходит в K-полевых шпатах более кислых дифференциатов пород (BaO 0,09–1,16%) и в K-щелочных метасоматитах по породам 1-й фазы.

K-полевой шпат содержит BaO до 3%. В поздних процессах изменения сиенитов Ba и Sr концентрируются обычно в барите, целестобарите (BaO до 64,62 и SrO до 9,61%), целестине (BaO 10,11 и SrO 45,7%).

Благороднометалльная Au-Pt-Cu-S вкрапленная минерализация (1–4%) установлена в пироксенитах и их измененных ксенолитах в сиенитах с суммой ЭПГ до 0,5 г/т [5]. Пироксениты с сульфидной вкрапленностью содержат Cu до 0,4–1% и (в ppm): Ni 523, Co 88, Cr 704, Pb 138, Zn 153, Bi 11, Ag 4,5–15,7. Содержание благородных металлов в них составляет (в г/т): Pt 0,015, Pd 0,025, Rh 0,001 и Ru 0,26 г/т ($\Sigma ЭПГ=0,301$), Au 0,162 г/т, Ag 3 г/т. Рудная минерализация представлена халькопиритом, борнитом, реже встречаются пирротин, галенит, самородные Te и Bi. Минералы платиновой группы представлены теллуридами – кейтконнитом ($(Pd,Pt,Cu)_3Te$) и мончеитом $PtTe_2$. Золото (с содержанием Ag до 35,28%) тяготеет к зонам изменения в пироксенитах, содержащих халькопирит, борнит. В сростании с халькопиритом и галенитом встречаются цумоит ($BiTe$), серебро, единичные зерна клаусталита, сфалерита, гринокита.

5. Содержание благородных металлов в минерализованных породах и рудах рудопоявления Бергаул, южная часть Ондозерско-Сегозерской площади (в г/т)

Порода, руда, рудная вкрапленность	Au	Ag	Вид анализа
Колчеданные руды	0,008–0,014		АА
Колчеданные руды (образец К-3/1)	0,1	0,726	ПР
Колчеданные руды (КГЭ)	0,02–0,4	2–10	ПР
Пирит-кварцевая жила	0,011–0,04		АА
Кварцевые прожилки с пиритом в измененных риодацитах и углеродистых сланцах (обр. 5002/1)	0,006–0,014 0,02–0,092	1,96	АА
Сланцы по риодацитам с сульфидами 3–7% (5010/1; 1156; 1156/6)	0,06–0,1 0,081–0,105	0,404–3,04	АА
Cu-Zn-Pb прожилковое оруденение в серицитизированных риодацитах (5010/7; 1151/1)	0,56 0,082–0,134	0,6 0,35–18,54	АА
Скарноиды с молибденитом (К-6/3; 1152/4; 1152/6)	0,064–0,098	0,16–5,94	АА
Кварцевая жила с галенитом (К-1/2)	0,12	354,45	ПР
Измененные гранит-аплиты, сульфидов до 5–10%	0,06	0,06	АА

Примечание. Данные Л.В.Кулешевич и Карельской ГЭ (КГЭ); АА – атомно-абсорбционный анализ (выполнен в ИГ КарНЦ РАН), ПР – пробирный (в ФГУП ЦНИГРИ).

Полиметаллические и молибденовые проявления. Вторую группу рудных объектов на Ондозерско-Сегозерской площади представляют небольшие Pb-Cu-Zn-Mo-рудопоявления, встречающиеся как в северной, так и в южной частях площади, связанные с порфиroidными гранитами. В северной части площади установлена серия небольших рудных объектов – проявления Воломское, Лебедевогорское, Тухкозеро, Лазаревское и другие пункты минерализации, в южной части – проявление Бергаул.

На участке Воломском (в пределах железорудного проявления) в ореоле небольшого гранитного тела, прорывающего сурлампинскую свиту, установлена молибденитовая минерализация. При среднем содержании Mo 0,01% (по скважинам С-59, С-60, 66) прогнозные ресурсы до глубины 100 м были оценены в 30 тыс. т Ag-содержащее полиметаллическое проявление Лебедевогорское находится в северной части массива Лебедева Гора катаклазированных порфиroidных плагиомикроклиновых гранитов. Кварцевый штокверк образован системой субмеридиональных и северо-восточных жил. Гнездово-вкрапленная минерализация в зальбандах жил представлена пиритом, халькопиритом, борнитом, галенитом, сфалеритом, висмутом и минералами серебра. Галенит выделяется в крупных гнездах в кварцевых жилах, с ними связаны повышенные содержания Bi, Ag. Содержание в зонах вкрапленно-прожилковой минерализации (в %): Cu достигает 1 (среднее 0,1), Pb от 0,1 до 3,5–9,34 (в среднем 1), Zn 0,1–1 (среднее 0,2), Bi до 0,005–0,06 (среднее 0,01), Co 0,02, Mo до 0,001, а Ag 1–40 и Au до 0,5–1 г/т. В галенит-кварцевых жилах содержание Ag достигает 200–400 г/т (среднее 20 г/т). По результатам геолого-разведочных работ В.А.Ганина (1983) прогнозные

ресурсы Cu рудопоявления оценены в 4,5 тыс. т, Pb 40,5 тыс. т, Zn 4 тыс. т, Bi 405 т, Ag 81 т.

Молибден-полиметаллическое проявление Тухкозеро приурочено к северной части Устьволомского гранитного массива. Изменения гранитов сопровождаются их серицитизацией: по плагиоклазу и по сланцеватости развивается тонкочешуйчатый серицит, эпидот, наблюдается вкрапленность молибденита, халькопирита и галенита. Концентрация полиметаллов составляет (в %): Pb 0,005–0,5 (среднее 0,5), Zn 0,1–0,2 (среднее 0,1), Bi до 0,02, а Ag 15–20 г/т. По В.А.Ганину [14] ресурсы свинца категории P₁ оценены в 90 тыс. т, цинка – в 18,7 тыс. т. Полиметаллическая минерализация с молибденитом наложена в том числе и на Шаравалампинский умереннощелочной массив.

На участке Лазаревском с небольшим телом гранитов, прорывающим вмещающие сланцы, связаны аномальные концентрации Cu, Zn, Pb, Mo и шлиховые ореолы золота, что позволяет рассматривать его как перспективный для поисков проявлений этих металлов.

С Гормозерским гранитным массивом южной части Ондозерско-Сегозерской площади связана вкрапленно-прожилковая Pb-Zn-Cu-Mo-минерализация рудопоявления Бергаул, выявленная в его западном ореоле в измененных вмещающих толщах и дайках гранит-аплитов. К этому же типу относятся небольшие проявления Гемми-Лампи, Сельги (Mo 0,23%) [14]. Оруденение проявления Бергаул сопровождается грейзенизацией вмещающих пород и гранитов и скарнированием коматиито-базальтов. Наиболее интенсивно грейзенизация проявилась в кислой пачке (метаморфизованных туфах риодацитов) и прорывающих их дайках аплитов, накладывается на углеродсодержащие сланцы. Область штокверка (100×200 м) и измененных пород над

погружающейся кровлей гранитного массива вытянута в широтном направлении. В грейзенизированных вмещающих сланцах, обогащенных кварцем, серицитом, турмалином (до 5–10%), увеличивается концентрация K_2O до 4,41% и редких щелочей – Li_2O до 0,017 и Rb_2O до 0,019% (см. табл. 3). В измененных гранит-аплитах развиваются альбит, кварц, мелкочешуйчатый серицит, пирротиновая и молибденитовая минерализация. Условия образования грейзенов оцениваются в 400–460°C [11]. В юго-восточной части участка Бергаул по коматитам и амфиболитам развиваются скарноиды, они содержат эпидот, гранат, кальцит, актинолит. На скарноиды наложены хлоритовые изменения и хлорит-эпидот-кварцевые прожилки, гнезда и вкрапленность молибденита.

Молибденит установлен в грейзенизированных гранит-аплитах, сланцах по риодацитам и скарноидах в кварцевых (или эпидот-кварцевых) прожилках и зонках рассланцевания северо-западного, северо-восточного и субширотного простирания; встречается, в том числе и в порфиroidных гранитах центральной части массива. Он образует чешуйки (0,1–0,5 см) и гнезда размером до 2 см в ассоциации с кварцем, серицитом или хлоритом. При снижении температуры он сменяется сульфидами полиметаллов. Полиметаллическая (Pb-Zn-Cu) ассоциация прожилково-вкрапленных руд представлена пирротинном, халькопиритом, галенитом, сфалеритом, встречаются пирит, реже самородный висмут и серебро, в зоне окисления образуются охры ферримолибдита. С крупнокристаллическим галенитом кварцевых жил ассоциируют самородные висмут и серебро. По данным ICP-MS-анализа (см. табл. 4), содержание в грейзенизированных породах (в ppm): Mo от 14 до 1000, Te 0,1–66, Zn 19–596, Au 0,12–0,15, Ag от 0,3–17 до 215–355 ppm, Bi от 0,4–4 до 594–747 ppm (его максимальные концентрации установлены в галенит-кварцевых жилах) и Pb до 1,5–4,7%. Содержание Au достигает 0,56% (см. таблицы 4, 5). В скарноидах содержание составляет (в ppm): Mo 216–1244, Pb 13–527, Bi 5–107, Te 0,16–1,5, Zn 103–247, Ag 0,18–6, Au 0,04–0,12.

По данным опробования канав и горных выработок, проведенных еще в 1950-х годах (по М.Е.Зильбер, 1954; З.Т.Громовой, 1956) [14], были выделены два рудных тела. В рудном штокверке установлено содержание (в %): Mo 0,01–0,5, при максимальной концентрации 1,9, Zn 0,22, Pb 1, Cu 0,068–0,32, а Ag до 100–320 г/т, Bi до 1 г/т. Очевидно, что оруденение проявления Бергаул можно рассматривать как Bi-Ag-содержащее Pb-Zn-Cu-Mo.

Таким образом, благодаря исследованиям последних лет установлено, что вмещающие толщи Ондозерско-Сегозерской площади, развитые в северной и северо-западной ее частях, сопоставляются с верхнеархейскими отложениями контоксской и гимольской серий, а возраст секущих их интрузивных тел не древнее 2,74 млрд. лет. С терригенным флишевым разрезом

связаны небольшие проявления железистых кварцитов. Южная часть площади сопоставляется с более древними отложениями Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса. С кислым вулканизмом бергаульской свиты в обрамлении Водлозерского блока связаны колчеданные руды гидротермального генезиса.

Интрузивный магматизм Ондозерско-Сегозерской площади представлен умереннощелочным дифференцированным от пироксенитов до монцонитов и сиенитов и порфиroidным гранитоидным комплексами, близкими им по времени формирования (~2,74 млрд. лет). В северной части Ондозерско-Сегозерской площади сложнодифференцированные умереннощелочные массивы пироксенит-сиенитового или пироксенит-монцонитового состава выделяются высокими содержаниями как когерентных (Cr, Ni, Co, V), так и некогерентных элементов (P3Э, Ba, Sr). Предполагается, что формирование этих интрузий происходило в условиях транстенционного режима и поступления расплава из глубинного обогащенного источника [5]. Для них характерна Ba-Sr-P3Э-P-Ti минерализация, ультраосновных дифференциатов – (Au-Pt)-Cu-S. С дифференцированным умереннощелочным Сяргозерским комплексом (массивами Шаравалампи и Паназерским) связаны проявления Шалговаара и Панозерское. Формирование апатит-титанитового оруденения сопровождалось амфиболитизацией и более поздними наложенными изменениями габбро-пироксенитов при внедрении в них сиенитов, с образованием алланита, Ba-Sr и Cu минерализации.

Все рассмотренные Mo-полиметаллические объекты Ондозерско-Сегозерской площади связаны с известково-щелочными порфиroidными гранитами. Их можно отнести к Pb-Zn-Cu-Mo-порфиroidным (с разным соотношением Mo, Pb, Zn, Cu, Ag, Bi и невысоким содержанием Au). Молибденит замещается галенитом. Роль Bi, Ag и Au возрастает на поздних стадиях гидротермального процесса, о чем свидетельствует их приуроченность к полиметаллической части руд. На всех рассматриваемых проявлениях (Лебедевогорское, Лазаревское, Тухозеро, Бергаул) Pb-Zn-Cu-Mo-минерализация установлена в экзо- или эндоконтактовом ореоле массивов порфиroidных гранитов и связана с процессами грейзенизации (серицитизации) или скарнирования, завершающими образование гранит-порфиroidов, малых гранитных тел и даек, и накладывается на них. Полиметаллические ассоциации выделяются повышенными содержаниями Ag, Bi, благодаря присутствию их в самородном виде или теллуридов. Оруденение можно рассматривать как Bi-Ag-содержащее Pb-Zn-Cu-Mo. Наличие на изучаемой площади многочисленных небольших проявлений делает ее перспективной для выявления более значимых рудных объектов.

Комплексный анализ изучаемой Ондозерско-Сегозерской площади (геологическое строение, состав и геохимия пород, металлогеническая специализация

массивов) позволяет рассматривать северную часть площади как область, формировавшуюся при подъеме астеносферы (с начавшимся растяжением земной коры), тогда как формирование массивов южной группы происходило на окраине Водлозерского блока, в условиях более мощной земной коры [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Архейские* террейны: их геологическое и изотопно-геохимическое обоснование / С.Б.Лобач-Жученко, В.П.Чекулаев, Н.А.Арестова и др. // Геотектоника. 2000. № 6. С. 26–42.
2. *Геология* и петрология архейского высококалиевого и высокомагнезиального Панозерского массива Центральной Карелии / С.Б.Лобач-Жученко, Х.Роллинсон, В.П.Чекулаев и др. // Петрология. 2007. Т. 15. № 5. С. 493–523.
3. *Граниты* Южной Карелии / Г.О.Глебова-Кульбах, С.Б.Лобач-Жученко, Н.И.Пинаева, К.Д.Борисова // Граниты Кольского п-ва и Карелии. Труды ЛАГЕД. – Л., 1963. Вып. 15. С. 161–334.
4. *Дмитриева А.В.* Геохимия и рудная минерализация Сяргозерского умереннощелочного комплекса (Центральная Карелия) // Ученые записки ПетрГУ. 2013. № 6. С. 45–51.
5. *Дмитриева А.В.* Металлогеническая специализация неархейского умереннощелочного магматизма Центральной Карелии // Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – СПб., 2017.
6. *Егорова Ю.С.* Санукитоиды Фенно-Карельской провинции Балтийского щита: геология, состав, источники / Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – СПб.: ИГГД РАН, 2014.
7. *Иванников В.В.* Архейские сиениты и монцониты Карелии // Вестник СПбГУ. Сер. 7. Вып. 1. № 7. 1997а. С. 11–21.
8. *Иванников В.В.* Архейские сиениты и монцониты Карелии // Вестник СПбГУ. 1997б. Сер. 7. Вып. 4. № 28. С. 3–15.
9. *Изотопная* геохронология посттектонической ассоциации санукитоидов, сиенитов и гранитоидов в архее Центральной Карелии / Е.В.Бибикина, Н.А.Арестова, В.В.Иванников и др. // Петрология. 2006. № 1. С. 44–55.
10. *Коваленко А.В.* Граниты окраины древнего Водлозерского блока: геология, геохимия, петрология // Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – СПб., 2000.
11. *Корреляция* архейских событий Водлозерского домена в свете новых геологических и изотопных данных / Н.А.Арестова, В.П.Чекулаев, С.Б.Лобач-Жученко и др. // Современные проблемы магматизма и метаморфизма: мат-лы всерос. конференции, посвященной 150-летию акад. Ф.Ю.Левинсона-Лессинга и 100-летию проф. Г.М.Саранчиной. – СПб., 2012. Т. 1. С. 46–49.
12. *Лобач-Жученко С.Б., Левченко О.А.* Новые данные по геохронологии Карелии // Изотопные методы и проблемы геологии докембрия Карелии: сборник статей. – Петрозаводск, 1985. С. 5–26.
13. *Метасоматиты* и оруденение месторождения Бергаул / Л.В.Кулешевич, В.И.Иващенко, О.Б.Лавров, Н.Н.Корогаева // Геология и полезные ископаемые Карелии. – Петрозаводск. № 2. 2000. С. 60–68.
14. *Минерально-сырьевая* база Республики Карелия. Кн. 1. – Петрозаводск: Карелия, 2005.
15. *Ранний* докембрий Балтийского щита. – СПб.: Наука, 2005.
16. *Светов С.А.* Магматические системы зоны перехода океан–континент в архее восточной части Фенноскандинавского щита. – Петрозаводск, 2005.
17. *Состав, возраст и Sm-Nd систематика* архейских высокомагнезиальных гранитоидов (санукитоидов) массива Панозеро, Карелия / В.П.Чекулаев, О.А.Левченко, В.В.Иванников и др. // Геохимия. 2003. № 8. С. 817–828.
18. *Субщелочной* магматизм района Сяргозера / В.Д.Слюсарев, Л.В.Кулешевич, Г.М.Павлов и др. // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 3. – Петрозаводск, 2001. С. 66–86.
19. *U-Pb геохронология* магматических пород Ондозерского блока / Е.В.Бибикина, Т.В.Грачева, В.А.Макарова, В.В.Щипцов // Магматизм, метаморфизм и геохронология Восточно-Европейской платформы в связи с крупномасштабным картированием: тезисы докладов IV регионального петрографического совещания по Европейской части СССР. – Петрозаводск, 1987. С. 162–163.
20. *Чекулаев В.П.* Архейские «санукитоиды» на Балтийском щите Доклады АН. 1999. Т. 368. № 5. С. 676–678.
21. *Щипцов В.В., Кожевников В.Н., Скорнякова Н.И.* Гранитоиды архея юго-восточной части Балтийского щита. – Л.: Наука, 1987.
22. *Bibikova E.V., Petrova A., Claesson S.* The temporal evolution of the sanukitoids in the Karelian Craton, Baltic Shield: an ion microprobe U-Th-Pb isotopic study of zircons // Lithos. 2005. Vol. 79. P. 129–145.
23. *The Archaean sanukitoid series of the Baltic Shield: geological setting, geochemical characteristics and implications for their origin* / S.B.Lobach-Zhuchenko, H.R.Rollinson, V.P.Chekulaev et al. // Lithos. 2005. Vol. 79. P. 107–128.