

35. Miyano, T. Conditions of riebeckite formation in the iron-formation of the Dales Gorge Member, Hamersley Group, Western Australia / T. Miyano, C. Klein // Amer. Mineral. – 1983. – V. 68. – P. 517–529.

36. Giralt, S. Lake Issyk-Kul: an example of recent evolution in a continental environment / S. Giralt, S. Riera, J. Klerkx et al. // Terra Nostra 2001/2. Girona, Spain. 3<sup>rd</sup> Workshop Southern European Working Group of the European lake Drilling program.

37. Савко, К.А. Физико-химические условия метаморфизма магнетит-грюнерит-рибекитовых пород Приоскольского железорудного месторождения Курской магнитной аномалии / К.А. Савко, Н.Ю. Кальмуцкая // Вестник Воро-

неж. гос. ун-та. Сер. Геология. – 2002. – № 1. – С. 95–103.

38. Oba, T. Experimental study of cummingtonite and Ca-Na amphibole relations in the system Gru-Act-Pl-Qtz-H<sub>2</sub>O / T. Oba, I.A. Nicholls // Amer. Mineral. – 1986. – V. 71. – P. 1354–1365.

39. Cameron, M. Structural and chemical variations in pyroxenes / M. Cameron, J.J. Papike // Amer. Mineral. – 1981. – V. 66. – № 1/2. – P. 1–50.

40. Morimoto, N. Nomenclature of pyroxenes. Report of the Subcommittee on Pyroxenes of the International Mineralogical Association on New Minerals and Mineral Names / N. Morimoto // Canad. Mineral. – 1989. – V. 27. – P. 143–156.

УДК 552.42:551.71(470.21)

## ПРОТОЛИТЫ ПОЗДНЕАРХЕЙСКИХ ГНЕЙСОВ КОЛЬСКО-БЕЛОМОРСКОГО НЕРАСЧЛЕНЕННОГО КОМПЛЕКСА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО ЩИТА (УЧАСТОК «ГУБА ПЕЧЕНГА»)

**В.И. Сиротин, Г.В. Войцеховский, С.В. Бондаренко**

*Воронежский государственный университет*

Целью изучения состава гнейсов, развитых в пределах нерасчлененного кольско-беломорского комплекса северо-восточной части Балтийского щита, является определение их первоначального состава и условий образования. Для пород характерно высокое содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (13–21 %), постоянное преобладание FeO (4–5 %) над MgO (1–2 %), умеренное количество CaO (2,36 %), что обуславливает кислый характер плагиоклаза; среднее содержание K<sub>2</sub>O и преобладающее превышение Na<sub>2</sub>O (около 3 %) над K<sub>2</sub>O (около 2 %). Содержание REE и Y в гнейсах варьируется в широких пределах от 58 до 190 г/т. На основании распределения главных элементов, микроэлементов (в том числе и редких земель), а также минералогического состава исследуемые гнейсы представляют собой преобразованные осадочные породы, главным образом, граувакки, аркозы, полимиктовые песчаники. Они характеризуются невысокой степенью химического выветривания и непосредственным переотложением продуктов разрушения вблизи источника сноса. Протолиты парагнейсов могли формироваться одновременно с протолитами собственно ортопород и выступали в роли их терригенной фации. Об этом может свидетельствовать и то, что на данной территории не существовало более древних образований сиалической коры (раннеархейской).

### Введение

Происхождение и эволюция архейской континентальной коры – один из наиболее актуальных вопросов в современной геологической науке. Познание физико-химических условий на поверхности планеты в древнейшие эпохи, воссоздание полной картины формирования литосферы Земли через седиментацию, вулканизм, метаморфизм есть путь к познанию закономерностей формирования полезных ископаемых, количество которых столь велико в пределах докембрийских щитов. В этом плане исключительный интерес представляют данные о строении и соотношении главных типов структур архейской земной коры – гранит-зеленокаменных и гранулитогнейсовых областей, слагающих значительную часть известных выходов раннего докембрия на континентах. В настоящее время гранит-зеленокаменные системы изучены довольно хорошо, тогда как происхождение и эволюция грану-

литогнейсовых областей во многом остаются неясными. Вопрос о первичной генетической природе измененных образований является одним из основных элементов исследования докембрийских отложений.

Целью работы является определение исходного вещества гнейсов – их протолита. В силу того, что в интенсивно метаморфизованных и дислоцированных толщах гранулитогнейсовых областей первичные признаки пород, как правило, во многом утрачены, более того, тектонические явления приводят здесь зачастую к образованиям ложных текстур и структур, выявление первичной природы дометаморфического состава гнейсов (их протолитов) проводилось с помощью петрографических и петрохимических методов.

Гнейсы отобраны в пределах кольской серии Кольского полуострова (участок «Губа Печенга» – площадь от Печенгской структуры в районе г. Заполярный до побережья Баренцева моря в районе Немецкой бухты). Этот регион исследования является, в силу своей

относительно высокой обогащенности древнейших пород, а следовательно, и изученности, «эталоном» докембрийских образований.

### Методика исследования

Используемые методы восстановления первичной природы довольно многочисленны. Минералогическо-петрографические методы базируются на особенностях состава пород, минералов. Они использовались при макро- и микроописании гнейсов.

Петрохимические методы основываются на разделении метаморфитов на орто- и парапороды путем сравнения их с эталонными наборами магматических и осадочных пород графическими или расчетными методами. В работе лучшие результаты были получены с помощью диаграмм А. Симонена, Б. Мауна и Х. де ля Роша, А.А. Предовского, А. Нематова.

На видоизмененной диаграмме А. Симонен [1, 2] учтены важные особенности разделения компонентов пород в процессах выветривания и осадконакопления. Параметры диаграммы позволяют оценить глинистую составляющую породы и судить о доле песчанистого материала в осадках. Диаграмма обладает сравнительно высокой разрешающей способностью.

В основе метода А. Нематова [1] лежат статистическая обработка анализов осадочных и магматических пород и установленные их отличия по химизму. В результате чего было отмечено, что с увеличением количества Al в магматических породах становится больше Na, K, а также характерна следующая закономерность соотношения атомных количеств элементов –  $Al < Na + K + 2Ca$ ; для осадочных пород наблюдается обратная закономерность. Fe и Mg в магматических породах встречаются в одинаковых количествах. В парапородах они взаимно исключают друг друга. Все эти данные были использованы для выделения на диаграмме полей орто- и парапород (где  $A = Al_2O_3$ ;  $C = 2CaO + K_2O + Na_2O$ ;  $F = MgO + FeO + Fe_2O_3$ ).

В основе метода Б.Мауна и Х. де ля Роша [1, 2, 3] лежат атомные количества наименее подвижных в условиях выветривания петрогенных элементов ( $Al + Fe + Ti$ ;  $Ca + Mg$ ) с учетом того, что при региональном метаморфизме смена минеральных ассоциаций сопровождается изменением лишь массы высокоподвижных компонентов  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$ .

Применение метода А. А. Предовского [1, 4] проводится с допущением полного изохимизма процессов метаморфизма. Главные петрохимические параметры диаграммы  $AFK$   $A = Al_2O_3 - (CaO^* + K_2O + Na_2O)$ , где  $CaO^* = CaO - CO_2$ ;  $K = K_2O - Na_2O$ ;  $F = (FeO + Fe_2O_3 + MgO):SiO_2$ . Они выбраны автором диаграммы на основании наиболее закономерного изменения химизма пород в условиях выветривания, осадконакопления и магматической деятельности. А. А. Предовский отмечает три тенденции: отделение кремнезема от фемических компонентов; накопление в пелитовых продуктах глинозема; накопление калия относительно натрия на отдельных стадиях выветривания и при разложении осадков. Диаграмма имеет главное поле FA и вспомо-

гательное FK. Вспомогательное поле обладает слабой разрешающей способностью, в силу значительного перекрытия участков пород различного состава и генезиса (по причине чего не будет рассматриваться).

Геохимические особенности основывались на сравнении концентраций малых и редкоземельных элементов (REE) в осадочных, магматических и исследуемых породах. Полные спектры REE и содержание малых элементов получены методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS Induktively Coupled Plasma Mass Spectrometry) (лаборатория ИГЕМ, Москва). Большинство исследователей полагает, что содержание REE не изменяется в процессе метаморфизма [5, 6, 7]. Неизменность содержания в процессе метаморфизма REE подтверждается, в частности, отсутствием значительных различий между породами гранулитовой и амфиболитовой фаций по содержанию REE (при одинаковом содержании кремнезема). Такие данные получены Б.Л. Увером и Дж. Тарни по комплексу Льюис в Шотландии, К.Д. Коллерсоном – по центральной Австралии, К. Конди – по южной Индии и др. Однако К.Д. Коллерсон и Б.Дж. Фриер, исходя из большой растворимости тяжелых REE во флюиде, богатом  $CO_2$ ,  $H_2O$  и галогенами, считают, что тяжелые REE могут выноситься этим флюидом. Большинство исследователей утверждает, что такой процесс может быть эффективен лишь в локальных зонах наиболее интенсивной фильтрации флюидов, поэтому в большинстве случаев REE можно использовать для выяснения генезиса пород.

Содержания REE в гнейсах рассматривались на фоне усредненных проб глин и глинистых пород, среднего архейского аргиллита [8, 9, 10]. С. Р. Тейлор и С. М. Мак-Леннан установили следующие особенности: содержание REE в среднем архейском аргиллите варьируется в широких пределах; наклон линии распределения REE изменяется от очень пологой до крутой; Eu-аномалии отсутствуют; отмечаются высокие концентрации Sr и Ni; в архейских породах наблюдается тенденция к более низкому суммарному содержанию REE ( $\Sigma(La/Yb)_N = 1,4 - 4,6$ ). Кроме того, они предложили тройную диаграмму La-Th-Sc и Hf-Th-Co, где четко проявляются поля распространения точек составов постархейских сланцев, среднего архейского аргиллита и собственно магматических пород.

Из существующих методов одни характеризуются высокой точностью, но ограниченной областью применения, другие могут быть расценены как универсальные, но им присущ высокий процент неопределенности результатов. В целом же применение всех методов в сумме к одному образцу, хотя и громоздко, но существенно повышает надежность определений и контроль.

### Геологическая обстановка

Геолого-геохимическое изучение пород в пределах комплекса кольских гнейсов проводилось от Печенгской структуры в районе г. Заполярный до побережья Баренцева моря в районе Немецкой бухты. Фундаментом для данного района является Серваран-

гер-Кольский террейн – составная часть Центрально-Кольского блока. Он имеет четкую границу с Мурманским блоком по системе разломов, поверхности которых падают в северо-западном направлении и прослеживаются на глубину 35–40 км [11].

Террейн неоднороден по составу, строению и сложен структурно-формационными комплексами позднего архея (Хомпен, Киркенес, Ярфиорд-Кола, Варангер, Гарсио, Сванник и Хугоявр). Исследуемой территории соответствует комплекс Ярфиорд-Кола, где выделяются еще более дробные структуры, различающиеся по составу и строению: Лиинахомарский блок (обр. 9812, 9820, 9843, 9844, 3005, 310, 3011, 3017) и Ровенский блок (обр. 16-00, 19-00, 17-00, 21-00, 1-00, 6-00, 10-00, 51/1-00, 15/2-00, 15/3-00). Граница между блоками достаточно условная. В пределах этих структур в районе были выделены орто- и парагнейсы в ранге волшпахской толщи нестратифицированного кольско-беломорского комплекса [11,12], которые залегают на породах основания этого комплекса (биотитовые, амфиболовые и пироксен-биотитовые гнейсы, мигматиты, тоналито-гнейсы и гранодиорито-гнейсы).

В Лиинахомарском блоке условно выделяют две толщи: верхняя (более 500м) сложена биотитовыми гнейсами с высокоглиноземистыми минералами (кордиерит, гранат, силлиманит), гранат-кордиеритовыми мигматитами; нижняя (более 1 км) представлена пироксен-амфибол-плаггиоклазовыми кристаллическими сланцами и гнейсами, эндербитами и чарнокитами.

По границе этих двух толщ (местами в верхней части нижней толщи) залегают промежуточная толща железистых кварцитов и кварц-магнетитовых силикатных пород (30–40 м). Наиболее полностью все три толщи представлены в районе пос. Лиинахамари побережья Баренцева моря. Они образуют брахиформные структуры – «гнейсово-складчатых овалов». Породы блока, метаморфизованные в гранулитовой фации, подверглись диафторезу в амфиболитовой фации.

На территории детального участка в Ровенском блоке породы отнесены к мигматизированным образованиям кольской серии. В его строении участвуют гранат-биотитовые гнейсы, биотит-силлиманитовые плаггиогнейсы, присутствуют амфиболиты.

В восточном направлении, к Немецкой бухте, увеличивается степень рассланцевания гнейсов и их диафтореза в условиях амфиболитовой фации. В результате неоднородности деформаций здесь также сохранились участки, содержащие парагенезисы гранулитовой фации (обр. 9820; 9844) [13].

Гнейсы побережья Баренцева моря осложнены многочисленными разрывными нарушениями (надвиги), а также прорваны субвертикальными и пологонаклонными дайками метадолеритов более позднего возраста (рис. 1).

### Строение и петрография

По минералого-петрографическому составу исследуемые гнейсы отвечают средне- и мелкозернистым равнозернистым сланцеватым и полосчатым породам.

Полосчатость обусловлена чередованием лейкократовых и меланократовых прослоев, а также наличием послонных жилочек гранитоидного (кварц-полевошпатового) состава. Кварц составляет в породе около 30–35 %. Он находится в виде округлых и удлиненных по направлению гнейсовидности зерен размером от десятых долей миллиметра до нескольких миллиметров. Местами он представляет линзовидные скопления зерен. Плаггиоклаз содержится от 30 до 40 %. Образует округлые, реже удлиненные по направлению гнейсовидности зерна. Полисинтетические двойники проявлены слабо. Состав плаггиоклаза варьируется в пределах 8–25 % An. Такие изменения состава могут происходить в пределах одного зерна без резкой границы между участками плаггиоклаза разного состава. Иногда устанавливается смена состава плаггиоклаза многократно, в пределах одного зерна, что придает ему пятнистое строение. Процесс раскисления сопряжен с процессом серицитизации и мусковитизации. При этом, чем более интенсивно мусковитизирована порода, тем более кислым становится в ней плаггиоклаз. Биотита содержится до 30 %. Он представлен мелкопластинчатыми и субпараллельноориентированными чешуйками. Встречается также в виде маломощных прослоев в основной массе. Биотит представлен коричневой с красноватым оттенком разностью, переходящей в бурую и светло-бурую. Местами он замещается хлоритом. Мусковит (8–15 %) замещает биотит, ставролит и андалузит. Кроме того, он находится в виде самостоятельных чешуек или их скоплений. Этот минерал распространен в гнейсах повсеместно. Хлорит (5–8 %) также образуется за счет биотита и мусковита, однако находится в породах лишь местами и в очень ограниченном количестве. Он представлен бледно-зеленой разностью с зеленовато-бурой аномальной окраской, редко синей и серебристо-серой. Силлиманит и дистен (от 10 до 15 %) в варьирующем количестве наблюдаются либо в сложно пересекающихся призматических зернах, развивающихся по биотиту, либо в мелкопризматической массе; кроме того, силлиманит ориентирован в субпараллельные полоски и снопы, реже находится в виде фенобластов. Гранат, ставролит, андалузит (5–10 %) наблюдаются в породах лишь местами. Они образуют крупные, размером до нескольких миллиметров, агрегаты. Акцессорные минералы в основном представлены цирконом (ед. з), рутилом (ед. з) и сфеном (1–2 %); значительно реже встречается монацит (ед. з).

Минералогический состав гнейсов тесно связан с их химизмом. Для пород характерно (табл. 1): 1) высокое содержание  $Al_2O_3$  (13–21 %), закономерно увеличивающееся с возрастанием количества глиноземистых минералов в породе (биотитовые и двуслюдяные гнейсы, гранат-биотитовые гнейсы, кордиерит-гранат-биотитовые гнейсы, силлиманитсодержащие гнейсы); 2) постоянное преобладание FeO (4–5 %) над MgO (1–2 %), причем железистость глиноземистых пород довольно высока и колеблется в узких пределах. При наиболее низком содержании фемических компонентов (Fe + Mn + Mg) в породе присутствует лишь биотит. Большому количеству этих компонентов соответствуют гранат-биотитовые гнейсы. При дальнейшем увеличении

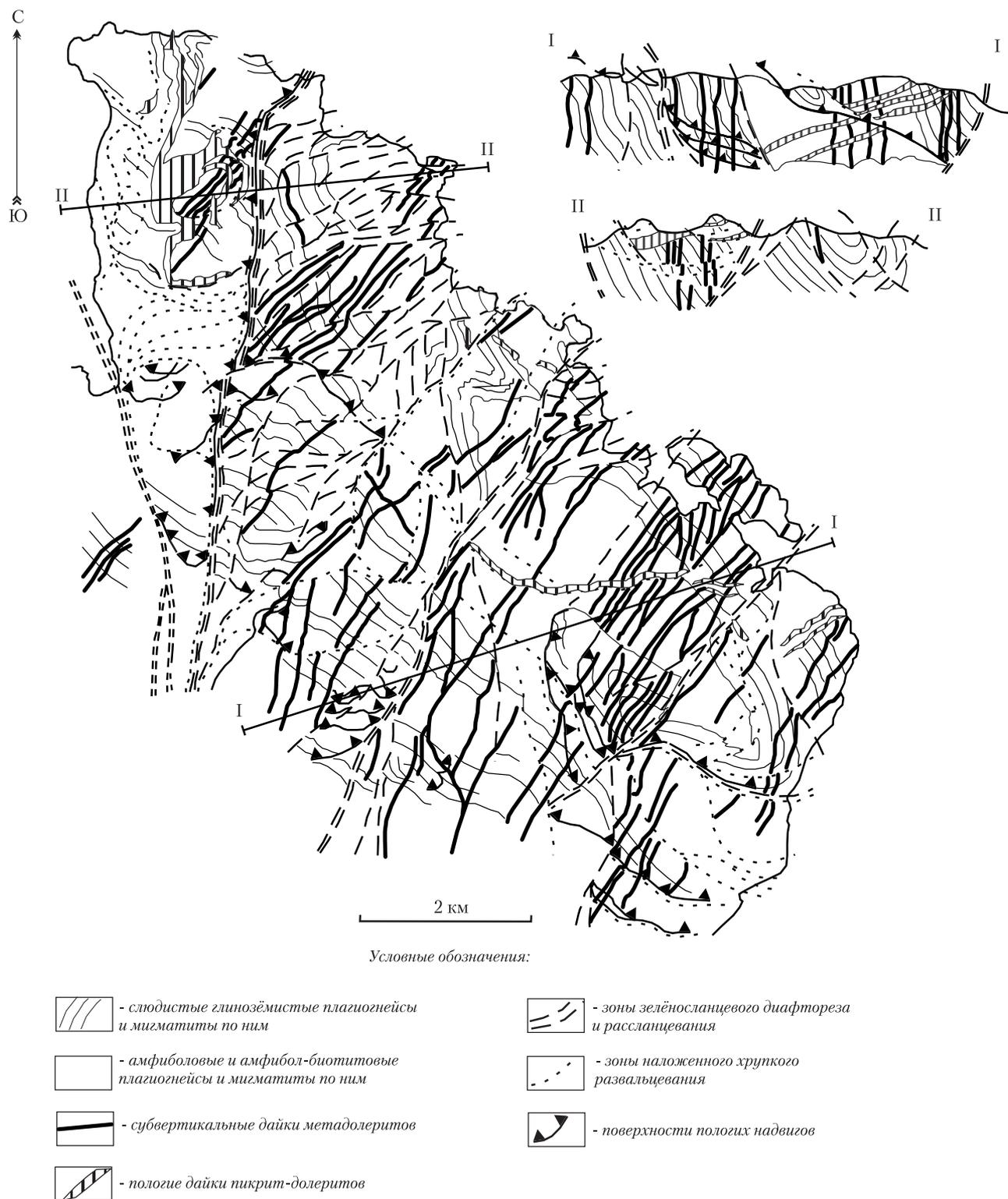


Рис. 1. Схематическая карта разновозрастных неоднородностей в комплексе пород верхнего архея на участке «Губа Печенга» побережья Баренцева моря [13]

содержания FeO + MnO + MgO к биотиту и гранату может присоединиться кордиерит; 3) умеренное количество CaO (2,36 %), что обуславливает кислый характер плагиоклаза; 4) среднее содержание K<sub>2</sub>O и преобладающее превышение Na<sub>2</sub>O (около 3 %) над K<sub>2</sub>O (около 2 %).

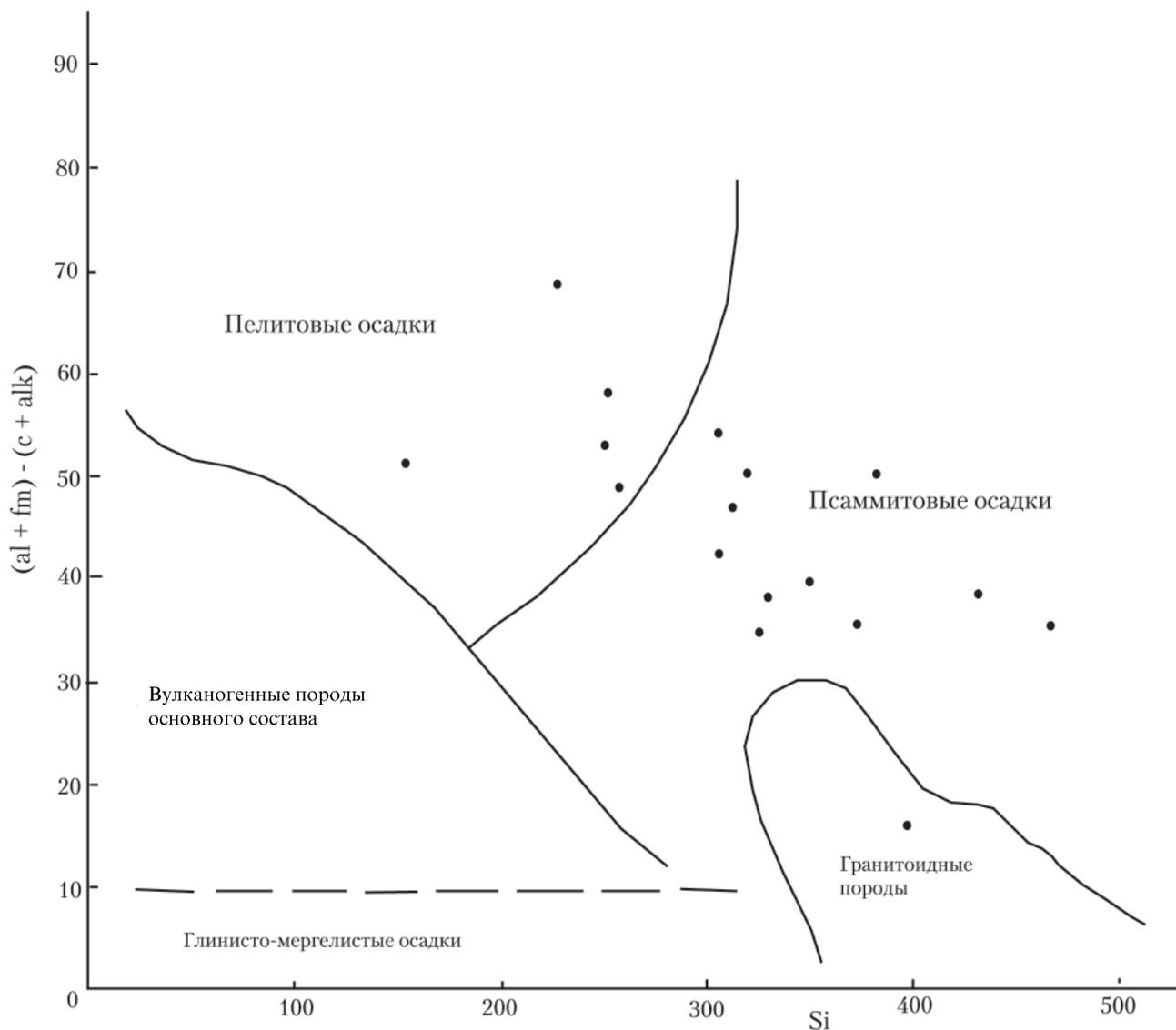
#### Результаты исследования

При нанесении фигуративных точек значений гнейсов на применяемые диаграммы были получены следующие результаты: 1) на диаграмме А. Симонен

Таблица 1

## Содержание петрохимических компонентов в гнейсах участка «Губа Печенга»

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O -	H <sub>2</sub> O +	F	Cl	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма
3005	57,32	0,77	12,62	2,15	5,80	0,13	7,33	6,39	1,02	2,62	0,24	1,69	-	-	0,80	0,36	0,025	99,60
3009	50,43	1,17	16,35	2,10	7,91	0,22	7,00	9,62	2,64	0,20	0,19	0,96	-	-	0,04	0,67	0,041	99,94
3010	60,92	0,71	16,14	1,07	4,46	0,07	2,43	1,51	3,55	2,22	0,19	0,10	-	-	0,04	0,78	0,018	100,21
3011	64,33	0,84	16,62	1,87	4,13	0,05	2,65	1,12	1,96	2,42	0,30	2,90	0,031	0,012	0,09	0,04	-	99,52
3013	61,56	0,94	17,47	1,83	6,64	0,08	3,54	1,16	2,11	2,41	0,26	1,73	-	-	0,04	0,00	0,036	99,81
3017	49,46	1,14	20,78	2,83	8,14	0,08	4,98	1,90	3,25	4,37	0,26	2,90	-	-	<0,01	0,06	0,047	100,20
1-00	66,58	0,57	16,40	1,79	2,59	0,04	1,84	1,02	3,47	3,28	0,10	1,85	0,038	0,011	0,09	-	-	99,67
6-00	70,06	0,60	14,34	0,94	3,27	0,06	1,92	2,03	3,39	1,36	0,12	1,19	0,029	0,017	0,15	-	-	99,54
10-00	71,92	0,28	15,39	0,96	0,98	0,02	0,71	2,85	4,62	1,02	1,10	0,68	0,025	0,018	0,09	-	-	99,66
15/2	58,48	0,82	20,15	2,56	5,54	0,08	0,69	0,92	0,75	3,45	0,18	3,32	0,074	0,019	0,07	-	-	100,10
15/3	74,84	0,47	12,16	1,32	2,17	0,03	1,47	1,34	2,66	2,03	0,14	1,37	0,032	<0,004	0,09	-	-	100,19
19-00	69,42	0,51	14,93	1,31	2,97	0,06	2,35	1,21	2,08	1,82	0,08	2,79	0,019	0,010	0,08	-	-	99,68
21-00	74,97	0,25	14,06	0,60	0,96	0,02	0,60	2,31	2,92	1,58	0,12	1,06	0,021	0,017	0,08	-	-	99,57
9812	68,15	0,56	14,88	1,02	4,43	0,05	1,85	1,96	3,95	1,79	0,21	0,76	-	-	0,09	0,00	-	99,74
9820	66,69	0,69	15,60	1,42	4,94	0,07	2,35	1,33	2,44	2,09	0,24	1,57	-	-	0,04	0,09	-	100,12
9843	64,51	0,51	15,20	0,94	5,41	0,06	3,31	3,40	3,71	1,35	0,23	0,87	-	-	0,13	0,11	-	99,74
9844	67,60	0,70	15,22	1,37	4,15	0,05	2,51	1,42	2,57	2,26	0,25	1,34	-	-	0,06	0,11	-	99,72
51/1	72,08	0,56	12,98	1,61	2,80	0,04	1,20	1,33	2,69	1,95	0,04	2,24	0,057	0,011	0,08	-	-	99,66

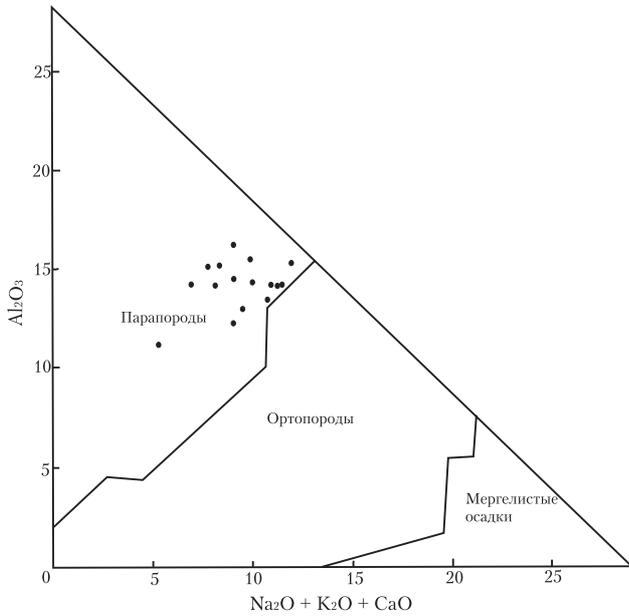


**Рис. 2.** Диаграмма А. Симонен [1]. Точки соответствуют составам гнейсов участка «Губа Печенга»  
 $Si = SiO_2; (al + fm) - (c + alk) = [Al_2O_3 + (FeO + MgO)] - [CaO + (Na_2O + K_2O)]$

(рис. 2) большинство точек ложится в поле осадочных пород – пелитовых и псаммитовых осадков и лишь единичное значение попадает в поле гранитоидов; 2) на диаграмме А. Нематова (рис. 3) – локализируются в области парапород. Как мы видим, они формируют определенную область распространения и лишь ряд значений обособливается относительно нее. Такое распределение дает возможность предположить, что все-таки протолитом гнейсов могли служить осадочные породы, образовавшиеся за счет дезинтеграции магматических образований. При этом возможно следует рассматривать их как незрелые осадки.

Методы Б. Мауна и Х. де ля Роша (рис. 4), А. А. Предовского (рис. 5) позволяют сделать заключение о принадлежности протолитов гнейсов к определенной генетической группе осадочных пород. Распределение значений на диаграмме Б. Мауна и Х. де ля Роша включает следующее: 1) состав гнейсов отвечает глинам,

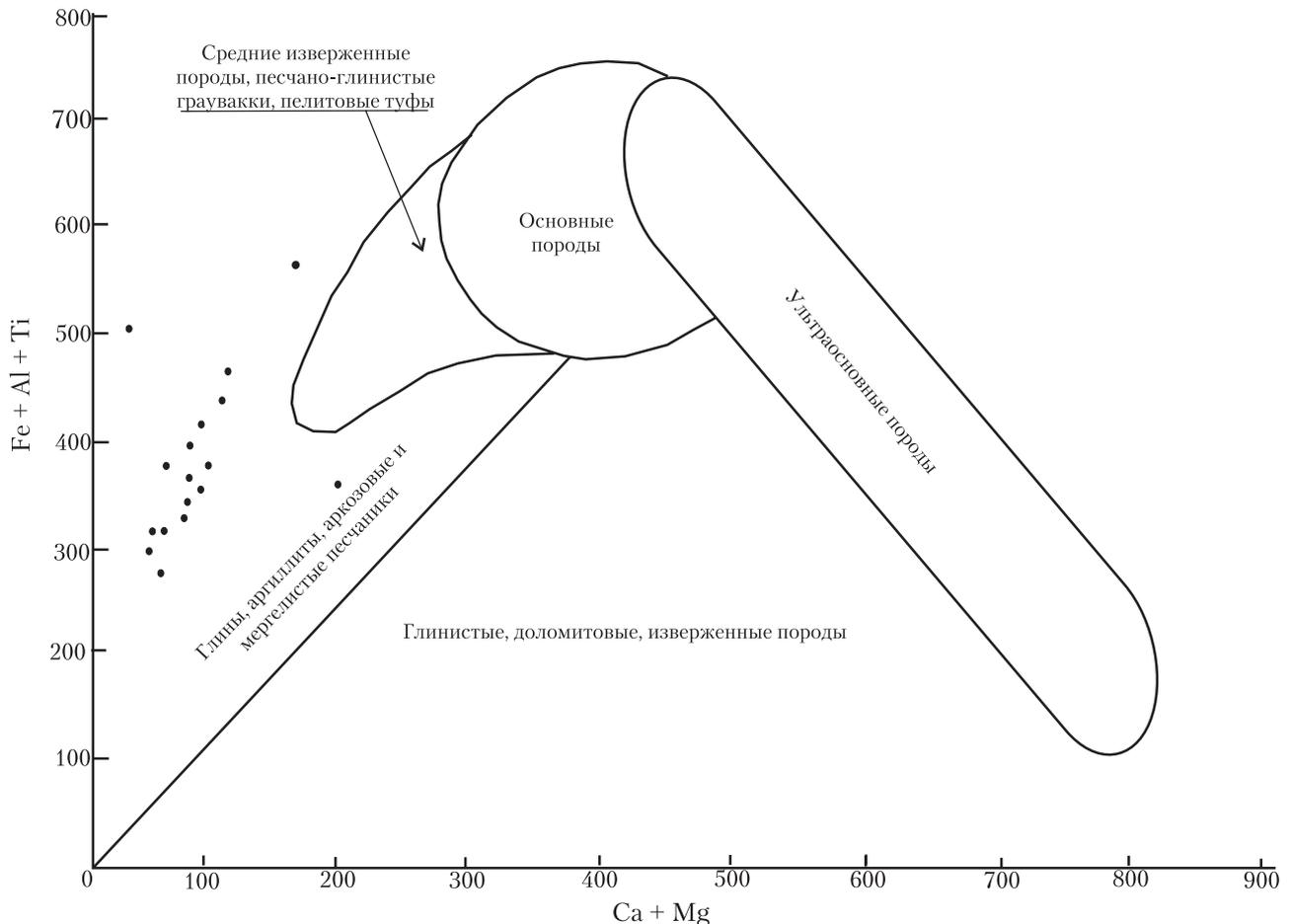
аргиллитам, аркозовым, граувакковым и мергелистым песчаникам; 2) единичные значения стремятся к полю туфогенных песчаников (мономиктовых и полимиктовых) и грауваккам основного состава; 3) поскольку фигуративные точки гнейсов не попадают в поля ультраосновных и основных пород, а также глинистых, доломитовых и известковистых мергелей, то вполне вероятно их следует исключить из рассмотрения в качестве материнских аналогов гнейсов. Таким образом, можно предположить, что наиболее вероятным аналогом являются глинистые породы, а также моно-, полимиктовые песчаники (возможно туфогенные) с глинистым или карбонатным цементом, т.е. обломочные породы, значительная часть которых составляет дезинтегрированный материал основных магматических пород. Аналогичный результат был получен и на диаграмме А. А. Предовского, на которой значения гнейсов ложатся в область распространения граувакк, аркозов, поли-



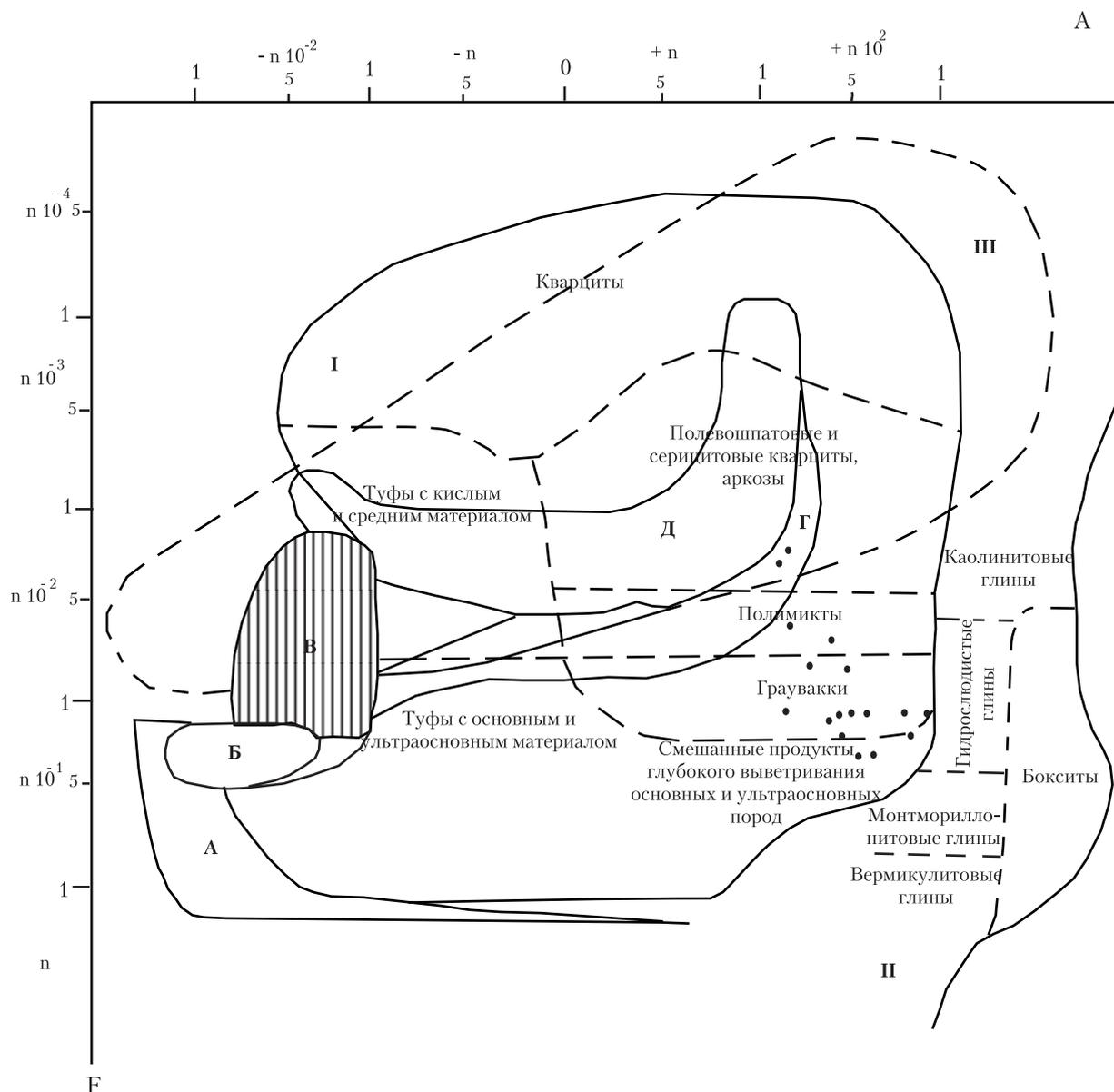
**Рис. 3. Диаграмма А. Нематова [1]. Точки соответствуют составам гнейсов участка «Губа Печенга».**  
 $C = Na_2O + K_2O + CaO$ ,  $F = MgO + FeO + Fe_2O_3$ ,  
 $A = Al_2O_3$

миктов, кроме того, ряд из них находится в непосредственной близости от границы с областью смешанных продуктов выветривания основных пород. В силу того, что большая часть точек попадает в поле граувакк, то можно говорить о том, что на площади сноса материала присутствовали породы различного состава.

Содержание REE и Y в гнейсах варьируется в широких пределах от 58 до 190 г/т, при значительном преобладании легких редкоземельных элементов над тяжелыми:  $\Sigma Ce / \Sigma Y = 2,99 - 8,45$  г/т (табл. 2). Для гнейсов характерна обогащенность REE при весьма неравномерном их распределении. Породам свойственны «наклонные» спектры REE, нормированных относительно хондрита [8], отражающие резкую обогащенность лантаноидами ( $La_N / Yb_N = 2,7 - 7,3$  г/т), при отчетливом фракционировании легких ( $La_N / Sm_N = 2,1 - 5,3$  г/т) и незначительном фракционировании тяжелых ( $Gd_N / Yb_N = 1,2 - 3,7$  г/т), за исключением образца 3011. Европиевые аномалии отсутствуют (рис. 6а). Резкое отличие в содержании легких и тяжелых REE в пробе 3011 может быть связано с проявлением условий большой кислотности, способствующей привносу легких REE. При таких условиях легкие более подвижные, чем тяжелые, также сильно возрастает растворимость глиноземистых минералов [6]. Правая часть графиков



**Рис. 4. Диаграмма Б. Мауна и Х. де ля Роша [1]. Точки соответствуют составам гнейсов участка «Губа Печенга»**



**Рис. 5. Диаграмма А. А. Предовского [4]. Точки соответствуют составам гнейсов участка «Губа Печенга. Поля осадочных и вулканогенно-осадочных и смешанных пород:**

- I – зернистые осадочные и смешанные породы;
  - II – пелиты; III – хомогенные силициты.
  - A – ультрабазиты; Б – базиты;
  - В – сиениты, щелочные сиениты и их эффузивные аналоги;
  - Г – диориты, плагιοграниты и их эффузивные аналоги; Д – граниты и их эффузивные аналоги.
- $F = (FeO + MgO + Fe_2O_3) / SiO_2$ ;  $A = Al_2O_3 - (CaO + K_2O + Na_2O)$ , где  $CaO = CaO + CO_2$

выполаживается, что также свидетельствует о более высокой подвижности промежуточных членов легких лантаноидов по сравнению с тяжелыми.

На фоне усредненных проб глин и глинистых пород, среднего архейского аргиллита [8, 10] гнейсы характеризуются относительно равноценными с ними содержаниями REE, превышая в 0,3–1,1 раза (рис 6б); по сравнению со средними содержаниями REE в гранитах они обеднены, а для основных пород обогащены в 1,2–1,9 раза. Таким образом, содержание REE в гнейсах приближается к содержаниям среднего архейского аргиллита. Отмеченные различия могут быть обуслов-

лены тем, что, рассчитывая состав среднего архейского аргиллита С. Р. Тейлор и С. М. Мак-Леннан использовали преимущественно данные по слабо метаморфизованным аргиллитам архейских зеленокаменных поясов.

Воспользуемся методикой, предложенной С.Р. Тейлором и С.М. Мак-Леннаном. На рис. 7 приведены тройные диаграммы La-Th-Sc и Hf-Th-Co с нанесенными на них полями архейских и постархейских глинистых сланцев. Точки, отвечающие составам гнейсов, соответствуют тренду распространения архейских сланцев. Положение на этих диаграммах собственно ортопород (метадупироксениты, горнблендиты, метапироксениты, эндербиты)

## Распределение микроэлементов и REE в гнейсах участка «Губа Печенга»

Компонент	17/1	16/1	19-00	3011	3013	9843	9812	9844	9820
Li	325,08	136,72	80,99	87,84	271,85	42,88	65,56	91,98	125,99
Be	4,31	1,32	2,05	2,16	2,27	1,70	1,25	1,85	1,08
Sc	27,26	33,47	19,13	21,27	29,98	15,50	20,95	17,62	21,86
Ti	4775,6	5767,7	3555,9	5568,8	6405,4	3722,0	4212,7	4551,3	5154,8
V	139,60	183,39	101,99	160,23	295,03	85,99	115,18	134,11	231,34
Cr	611,22	290,16	425,98	160,95	311,16	73,16	123,04	144,58	251,15
Mn	660,52	637,94	537,78	387,73	749,57	736,60	559,97	538,85	570,38
Fe	58771	53561	32869	41121	66452	45838	37901	37500	42428
Co	20,32	23,16	14,98	24,99	39,69	20,18	18,69	29,16	31,631
Ni	62,88	90,68	41,52	77,83	139,36	32,50	54,27	55,33	113,18
Cu	35,36	45,39	14,68	53,17	66,46	5,90	46,44	55,90	58,172
Zn	89,20	149,47	54,13	77,44	139,45	63,77	94,77	82,36	124,75
Ga	16,93	19,09	17,10	17,86	17,19	16,84	16,41	16,62	14,58
Ge	1,94	1,20	1,48	1,32	0,12	1,28	1,37	0,80	0,03
Se	1,72	0,0	1,24	2,41	4,20	0,0	3,99	0,0	1,28
Rb	72,90	110,56	28,18	39,99	43,01	31,60	41,99	48,98	36,31
Sr	233,93	238,54	127,67	194,18	154,18	87,26	188,29	163,06	155,10
Y	5,62	3,42	6,67	2,53	8,01	10,86	9,39	4,76	5,25
Zr	83,93	103,50	79,54	69,91	56,44	74,90	41,67	84,69	44,42
Nb	5,16	4,13	5,95	4,65	2,87	4,19	3,67	3,83	2,90
Mo	0,0	0,0	1,55	0,0	0,0	0,05	0,0	1,40	0,0
Ru	0,0	0,0	0,02	0,01	0,01	0,02	0,0	0,0	0,0
Ru	0,0	0,02	0,07	0,02	0,0	0,06	0,06	0,09	0,02
Rh	0,0	0,0	0,01	0,02	0,0	0,01	0,02	0,00	0,01
Pd	0,59	0,59	0,36	0,43	0,48	0,68	0,41	0,63	0,19
Ag	0,0	1,27	0,0	1,41	4,4	0,0	0,0	0,0	6,02
Cd	0,34	0,33	0,47	1,17	0,36	12,08	0,04	23,67	0,21
Sn	2,15	4,72	2,10	0,58	0,69	205,58	1,18	417,39	1,06
Sb	0,259	0,08	0,85	1,83	0,82	0,03	0,38	0,31	1,08
Sb	0,264	0,23	0,31	1,76	0,63	0,0	0,0	0,21	0,52
Te	0,32	0,37	0,0	0,0	0,0	0,21	0,0	0,0	0,0
Cs	21,98	3,39	1,85	2,15	5,26	1,60	2,16	2,51	1,99
Ba	556,15	705,77	1667,6	2187,7	677,74	316,08	1324,0	624,48	742,63
La	27,47	10,03	38,21	27,430	33,30	18,74	28,90	33,88	26,471
Ce	63,50	24,08	83,68	63,84	77,79	47,56	68,20	79,021	61,329
Pr	6,26	2,58	8,76	6,28	8,40	5,15	7,10	8,20	6,34
Nd	24,23	10,48	29,97	26,23	32,34	21,19	25,41	31,39	24,65
Sm	3,34	1,90	5,03	4,34	6,23	5,70	4,67	5,38	4,23
Eu	1,09	0,55	1,37	1,30	1,45	1,64	1,52	1,49	1,35
Gd	4,04	1,87	5,62	5,16	6,24	5,31	5,51	6,19	5,09
Tb	0,46	0,22	0,65	0,50	0,68	0,81	0,61	0,54	0,49
Dy	2,40	1,35	3,19	1,53	3,47	4,01	3,56	1,81	5,05
Ho	0,38	0,23	0,50	0,21	0,61	0,70	0,69	0,32	0,64
Er	1,30	0,82	1,47	0,30	1,92	2,02	2,31	0,88	1,33
Tm	0,13	0,14	0,21	0,04	0,29	0,32	0,31	0,22	0,17
Yb	1,33	0,95	1,20	0,31	1,99	2,42	2,10	0,19	1,17
Lu	0,19	0,12	0,17	0,05	0,25	0,50	0,33	0,18	0,20
Hf	5,00	5,58	5,17	3,71	4,54	3,59	2,67	5,27	3,20
Ta	22,44	2,93	4,32	9,29	0,18	0,70	8,24	0,33	0,45
W	4,10	4,96	7,40	0,0	0,0	2,91	0,0	4,12	0,0
Re	0,02	0,0	0,01	0,0	0,0	0,05	0,0	0,02	0,0
Ir	0,02	0,01	0,0	0,0	0,0	0,03	0,0	0,01	0,01
Au	1,05	0,08	0,39	0,48	0,21	0,37	0,38	0,22	0,21
Hg	0,0	0,51	0,0	0,0	0,0	0,19	0,0	0,71	0,0
Tl	0,64	1,12	0,19	0,33	0,61	0,27	0,34	0,59	0,50
Pb	17,57	16,12	17,17	8,96	37,51	10,05	19,15	18,11	38,05
Bi	0,42	0,14	0,12	0,08	0,32	0,05	0,02	0,0	0,37
Th	7,59	13,51	21,79	6,93	9,35	3,77	10,04	13,23	5,26
U	2,22	2,53	5,32	0,67	1,18	0,53	1,86	1,64	0,77
∑REE	136,12	55,32	190,03	137,51	174,96	116,08	151,2	170,67	138,51
∑Ce	125,89	49,92	167,02	129,42	159,51	100	135,78	159,36	124,37
∑Yb	10,23	5,7	13,01	8,09	15,45	16,08	15,42	11,31	14,14
Eu/Eu*	0,95	0,93	0,84	0,88	0,74	0,94	0,96	0,83	0,94

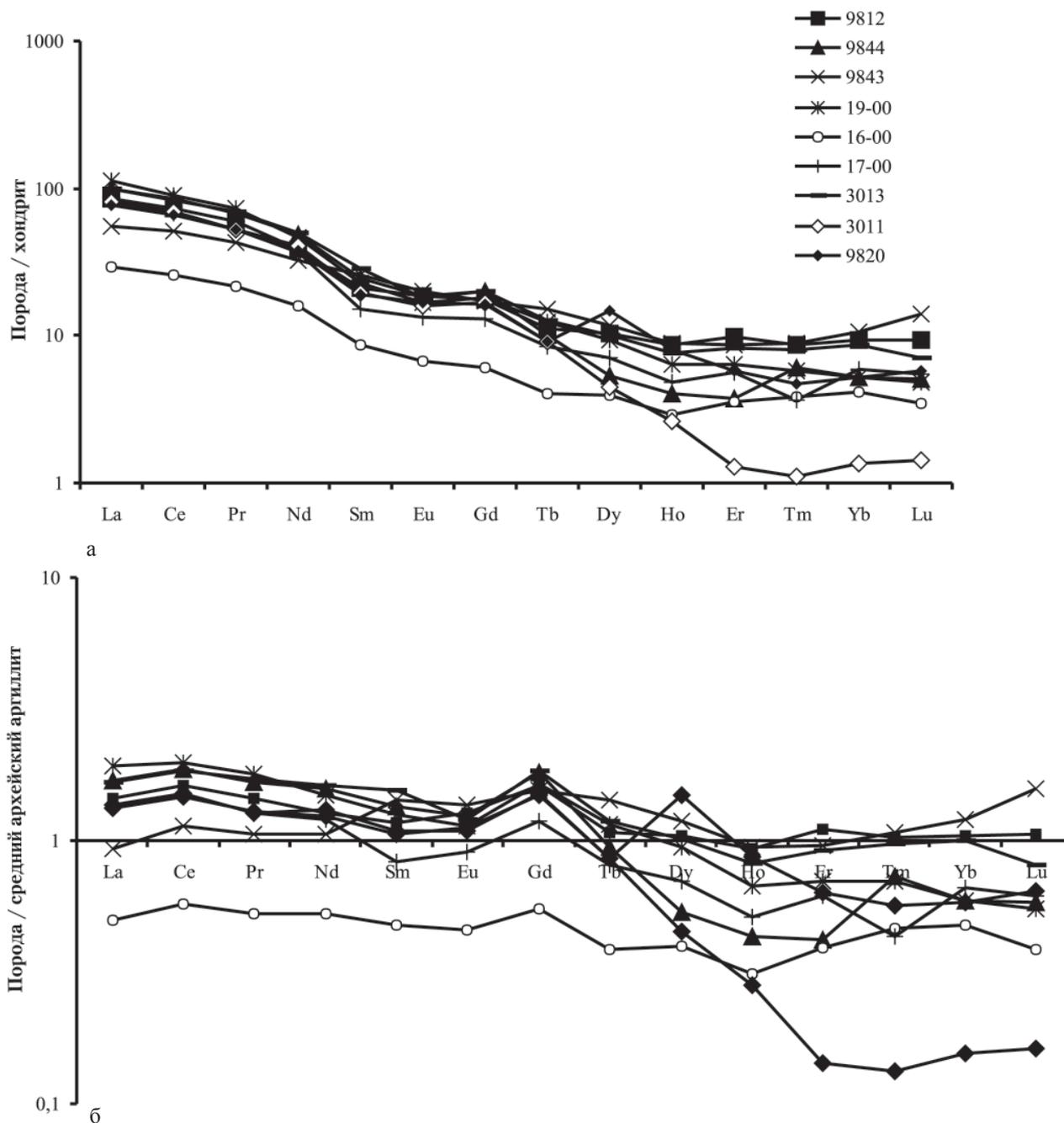


Рис. 6. Спектры редких земель в гнейсах участка «Губа Печенга»:

*а* – нормализованные относительно хондрита [8];

*б* – нормализованные относительно среднего архейского аргиллита [9, 10]. 9812 – номера проб

свидетельствует о том, что протолит метаосадков, в принципе, мог образоваться при эрозии магматических пород (представленных в настоящее время на Кольском п-ове чарнокитовым комплексом).

### Выводы

1. Таким образом, петрохимическая реконструкция первичного состава гнейсов дает основание считать подавляющую часть изученных проб результатом метаморфизма осадочных пород.

2. Литологический состав осадочных пород, в соответствии с проведенными исследованиями, отвечает полимиктовому, аркозовому песчаникам, грауваккам, смешанным продуктам выветривания основных и кислых пород.

3. Формирование определенной области скопления фигуративных точек на петрохимических диаграммах в незначительном удалении от поля магматических пород свидетельствует о невысокой степени химического выветривания или непосредственном переотложении продуктов разрушения вблизи источника сноса. По

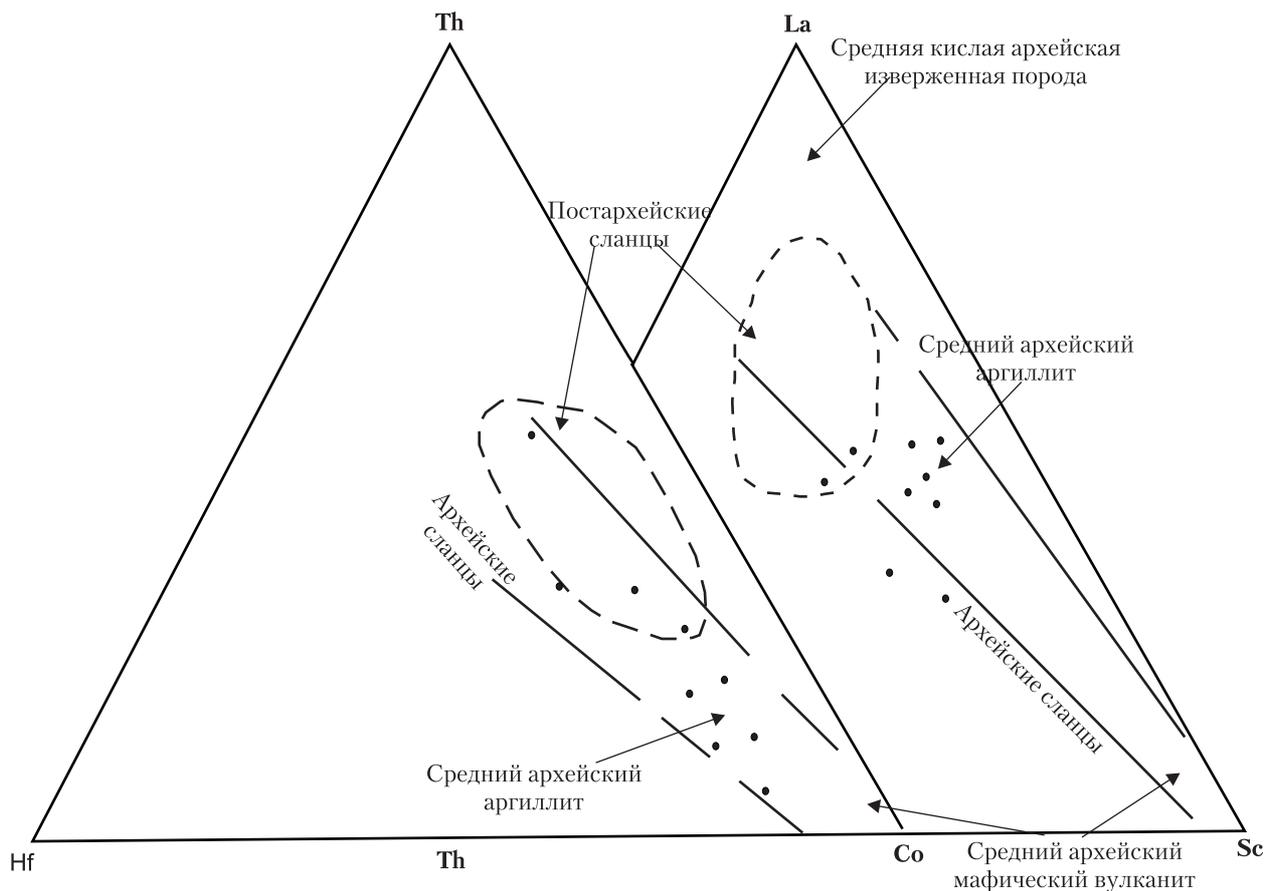


Рис. 7. Диаграммы Hf – Th – Co и Th – La – Sc С. Р. Тейлора и С.М. Мак-Леннана для гнейсов участка «Губа Печенга». Точки соответствуют составам гнейсов участка «Губа Печенга»

всей видимости, протолит парагнейсов формировался одновременно с протолитом собственно ортопород и выступал в роли терригенной фации. Об этом может свидетельствовать и то, что на данной территории не существовало более древних образований сиалической коры (раннеархейской) [14].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ефремова, С.В. Петрохимические методы исследования горных пород / С.В. Ефремова, К.Г. Стафеев. – М.: Недра, 1985. – 512 с.
2. Четвериков, С.Д. Руководство к петрохимическим подсчетам / С.Д. Четвериков. – М.: Гоголтехиздат, 1956. – 247 с.
3. Балашов, Ю.А. Геохимические критерии природы докембрийских амфиболитов / Ю.А. Балашов, А.А. Кремнецкий // Геохимия. – № 11. – 1972. – С. 1358 – 1371.
4. Предовский, А.А. Геохимическая реконструкция первичного состава метаморфизованных вулканогенно-осадочных образований докембрия / А.А. Предовский. – Апатиты, 1970. – С. 115.
5. Авакян, К.Х. Геология и петрология центрально-кольской гранулитогнейсовой области архея / К.Х. Авакян. – М.: Наука, 1992. – 168 с.
6. Савельева, В.Б. Редкоземельные элементы в кварц-мусковитовых метасоматитах приморского разлома / В.Б. Савельева, А.С. Зырянов, С.В. Пантеева // Геохимия. – 2003. – № 1. – С. 71–82.
7. Парагенетический анализ и редкоземельная минерализация глинистых пород глиноземистых пород амфиболитовой и гранулитовой фации Алдана и Кольского п-ова // Редкие элементы / под ред. Д.П. Сердюченко и Л.Ф. Борисенко. – М.: Наука, 1967. – С. 30–59.
8. Ронов, А.Б. Количественная закономерность строения и состава осадочных толщ Восточно-Европейской платформы и Русской плиты / А.Б. Ронов, А.А. Мигдисов // Литология и полезные ископаемые. – № 5. – 1996. – С. 451–475.
9. Мак-Леннан, С.М. Архейские осадочные породы и их соотношение с составом континентальной коры / С.М. Мак-Леннан, С.Р. Тейлор // Геохимия архея. – М.: Мир, 1987. – С. 98–68.
10. Тейлор, С.Р. Континентальная кора: ее состав и эволюция / С.Р. Тейлор, С.М. Мак-Леннан. – М.: Мир, 1988. – 384 с.
11. Магматические и метаморфические комплексы пород Кольской сверхглубокой скважины. – Л.: Недра, 1986. – 228 с.
12. Бондаренко, Л.П. Геология и метаморфизм пород архея центральной части Кольского п-ова / Л.П. Бондаренко, В.Б. Дагелайский. – Л.: Наука, 1968. – 168 с.
13. Вещественные гоммологи метаморфических низов архейского разреза Кольской СГ-3 (IX толща в интервале глубин 11411–11708 м) в обнажении затулумской структуры кольско-норвежского домена / Н.Е. Козлов, А.А. Иванов // Проект № 408 МПГК ЮНЕСКО. – Мурманск, 2001. – 46 с.
14. Ранний докембрий северо-востока Балтийского щита: палеогеодинамика, строение и эволюция континентальной коры / М.В. Минц, В.Н. Глазнев, А.Н. Конилов и др. – М.: Научный мир, 1996. – 278 с.