

10. Kovalevski V. V., Buseck P. R., Cowley J. M. Comparison of carbon in shungite rocks to other natural carbons: an X-ray and TEM study // Carbon. 2001. V. 39, N 2. P. 243–256.

11. Коробов М. В., Авраменко Н. В., Иванова Н. И. и др. Нанокластеры в водных дисперсиях фуллеренов и шунгитов // Сб. тез. докл. 3-й междунар. конф. «Угле-

род: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология». М., 2004. С. 126.

12. Ковалевский В. В., Рожкова Н. Н. Электронно-микроскопическое исследование наночастиц, осажденных из водных коллоидов фуллеренов и шунгитового углерода // Там же. С. 123.

УГЛЕРОДИСТОЕ ВЕЩЕСТВО ГНЕЙСОВ ЧУПИНСКОЙ СВИТЫ БЕЛОМОРИД

А. М. Ручьев, Т. А. Антонова, В. И. Кевлич, В. В. Ковалевский, А. Н. Сафронов

Институт геологии Карельского НЦ РАН, Петрозаводск

Гнейсы чупинской свиты, относящиеся к беломорскому комплексу пород (БК) Балтийского щита, — продукты полиэтапной архейской и протерозойской тектоно-метаморфической переработки изначально относительно однородного терригенного протолита (рис. 1) [1–4 и др.].

Все метаморфические разновидности гнейсов содержат нерастворимое углеродистое вещество (УВ) в виде темно-серых до черных с металловидным блеском мягких гибких гексагональных табличек и чешуек с весьма совершенной спайностью по базопинакоиду и их агрегатов, отвечающее диагностическим признакам

графита (рис. 2). Хотя УВ в чупинских гнейсах отмечалось многими исследователями, изучено оно недостаточно.

Нерастворимое УВ, выделенное из образцов различных метаморфических разновидностей гнейсов Северокарельского ареала пород чупинской свиты, подверглось электронно-микроскопическому на просвет и микродифракционному исследованию (микроскоп ЭМ-125, ускоряющее напряжение 100 кV). Согласно данным микродифракционного структурного анализа (табл. 1), УВ изученных образцов представлено графитом.

Седиментогенез

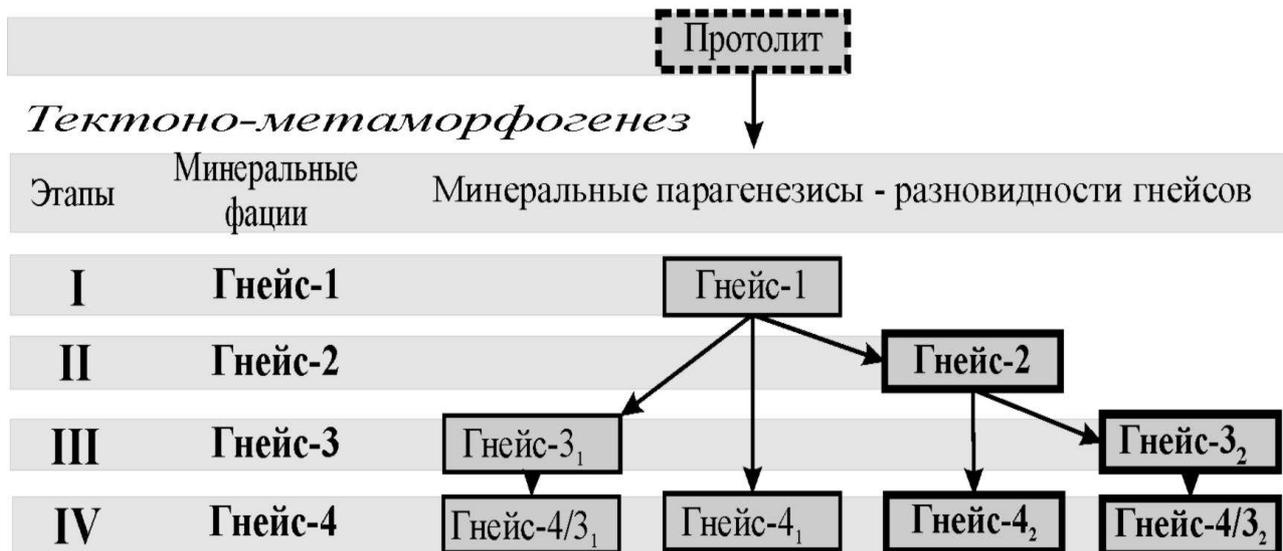


Рис. 1. Схема развития метаморфических разновидностей и минеральных фаций гнейсов

Доминирующие разновидности выделены жирным шрифтом; подстрочный цифровой индекс у номеров и знаменатель дробных номеров отвечают номеру исходной породы. Минеральные парагенезисы: **гнейс-1** – $9,96\text{Gar}^{26 \pm 10}_{72 \pm 10} + 20,40\text{Vi}_{37 \pm 4} + 34,32\text{Pl} + 34,32\text{Q} \pm \text{Gr} + 0,98$ рудный; **гнейс-2** – $2,54\text{Ku} + 10,51\text{Gar}^{30 \pm 9}_{70 \pm 4} + 24,02\text{Vi}_{8 \pm 4} \pm \text{Kfsp} + 26,49\text{Pl} + 35,82\text{Q} \pm \text{Gr} +$ рудный; **гнейс-3** – $3,41\text{Ku} + 7,00\text{Gar}^{23 \pm 4}_{75 \pm 4} + 20,74\text{Vi}_{39 \pm 4} + 35,80\text{Pl} + 32,68\text{Q} \pm \text{Gr} +$ рудный; **гнейсы-4₁, 4₂, 4/3₁, 4/3₂** – $\pm \text{Ku} \pm \text{Gar}^{18 \pm 4}_{80 \pm 5} + \text{Mu} + \text{Vi}_{46} + \text{Pl} + \text{Q} \pm \text{Gr} +$ рудный. Vi – биотит, Gar – гранат, Q – кварц, Ku – кианит, Kfsp – калиевый полевой шпат, Pl – плагиоклаз, Mu – мусковит, Gr – графит; цифры перед символами – среднее содержание, объемные %; индексы после символов: подстрочные – средний коэффициент общей железистости и его стандартное отклонение, надстрочные – средняя доля пиропового минала в гранате и ее стандартное отклонение

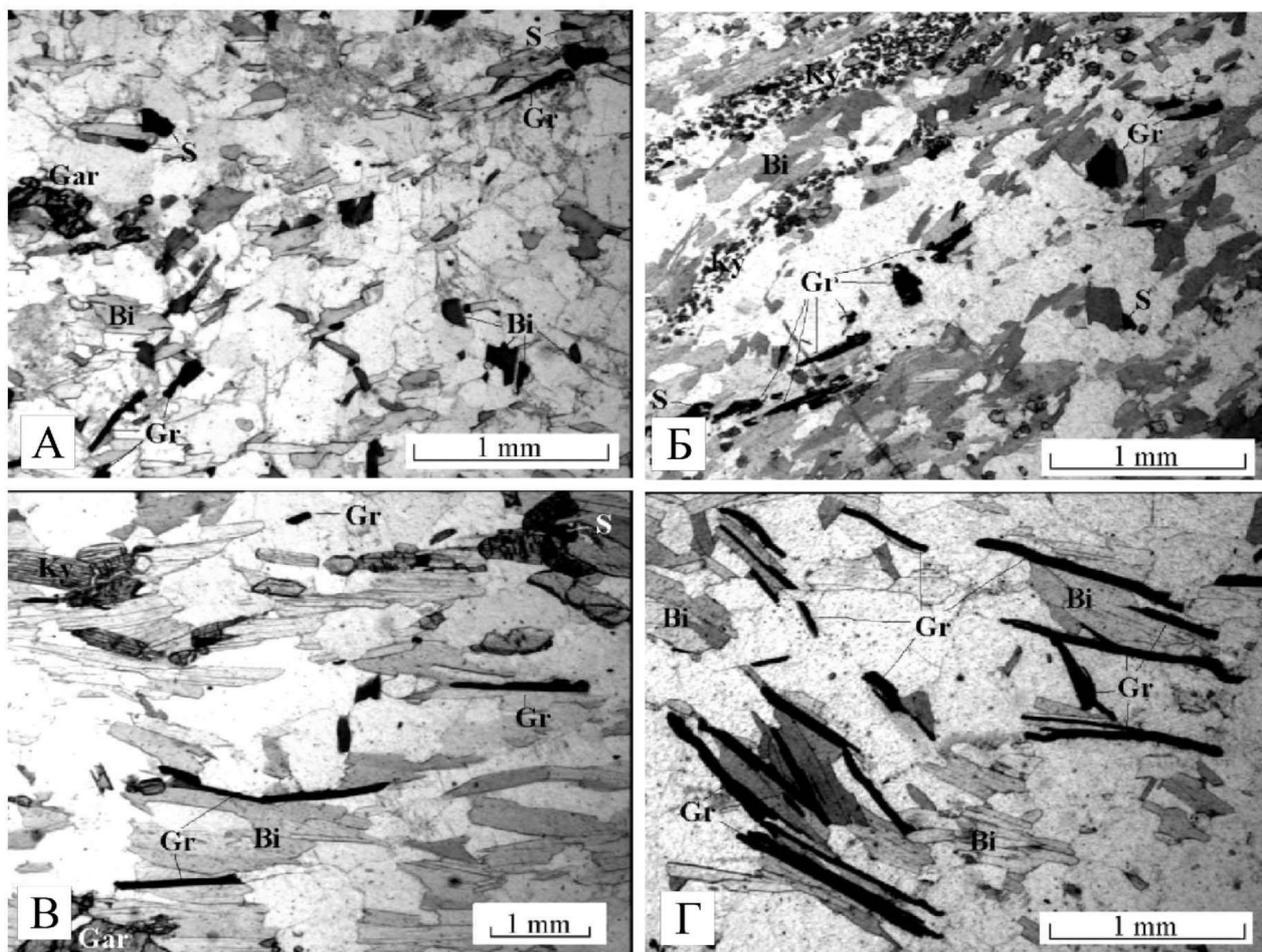


Рис. 2. Графит в метаморфических разновидностях гнейсов чупинской свиты:

А – гнейс-1; Б – гнейс-2; В – гнейс-3; Г – гнейс-4

Таблица 1

Параметры электронно-дифракционных картин графита и нерастворимого УВ чупинских гнейсов

Образец	Дифракционные максимумы, Å				
	(002)	(100)	(110)	(112)	(201)
Графит (P6 ₃ /mmc)	3,36	2,13	1,230	1,158	1,054
УВ гнейса-1 (обр. Сл-192-173)	3,36	2,10	1,23	1,15	1,05
УВ гнейса-2 (обр. Сл-109-19)	3,36	1,99	Не опр.	1,15	1,05
УВ гнейса-4 ₂ (обр. Сл-194-99)	3,36	2,09	1,23	Не опр.	1,04

Таблица 2

Рентгенографические параметры нерастворимого УВ гнейса-3

Образец	Межплоскостные расстояния (d), Å, и интегральные ширины (b), град., базальных отражений					
	d (004)	b (004)	d (006)	b (006)	d (008)	b (008)
Графит (P6 ₃ /mmc)	1,678	–	1,118	–	0,839	–
М-370	1,678 ± 0,001	0,304 ± 0,004	1,118 ± 0,001	0,352 ± 0,010	0,839 ± 0,001	0,540 ± 0,030
Сл-3011	1,678 ± 0,001	0,306 ± 0,004	1,118 ± 0,001	0,347 ± 0,010	0,838 ± 0,001	0,517 ± 0,026

По результатам рентгенографического (ДРОН-3, CuK_α-излучение, LiF-монохроматор) исследования нерастворимого УВ гнейса-3 (табл. 2), оно также является графитом со сходным строением (идентичными размерами с элементарной ячейки, а также областей когерентного рассеяния и микроискажений) на различных участках Северокарельского ареала гнейсов чупинской свиты.

Содержание графита в гнейсах различных минеральных фаций (табл. 3) определено методом линей-

ного измерения минеральных индивидов в породе с использованием интеграционного столика Андина.

С учетом постоянного присутствия и количества графита в чупинских гнейсах, они могут быть отнесены к низкоуглеродистым породам. Отмечается изменение (с преобладающей тенденцией к увеличению) среднего содержания графита при трансформации ранних разновидностей гнейсов в более поздние.

Наличие графита в гнейсе-1 позволяет ставить вопрос о возможности конседиментационного на-

копления УВ еще при формировании терригенного протолита. Однако очевидная относительная обогащенность графитом гнейсов-2, 3 и 4, что наиболее вероятно, обусловлена действием глубинных (мантийных?) восстановленных флюидов.

Первое значительное увеличение содержания графита в породе происходит при формировании гнейса-2 в ходе аллохимического (основного с отчетливо повышенным потенциалом калия) стресс-метаморфизма [2]. Кристаллизацией в условиях девиаторных напряжений объясняется свойственное графиту гнейса-2 уменьшение величины дифракционного максимума (100) (табл. 1), свидетельствующее о понижении упорядоченности в слое. На восстановительные условия, в частности, указывают уменьшение Fe^{3+} при одновременном росте содержания Fe^{2+} в гнейсе-2, а также возникновение европиевых аномалий [2]. Для гнейса-2 установлена статистически значимая связь содержания графита и калия (коэффициент парной корреляции – $r_{Gr-K_2O} = 0,447$; коэффициент значимости – $q = 0,90$; число образцов – $n = 13$). Вместе с УВ и калием, привнос которого во многом определяет существенные особенности аллохимических процессов второго тектоно-метаморфического этапа, в чупинскую толщу поступают благородные металлы (преимущественно платина). О взаимозависимости их содержания в гнейсе-2 свидетельствуют установленные корреляционные связи ($r_{Gr-Au} = 0,447$, $r_{Gr-Ag} = 0,447$, $q = 0,90$, $n = 12$; $r_{Pt-K_2O} = 0,435$, $r_{Au-Pt} = 0,497$, $q = 0,99$, $n = 32$; $r_{Au-Pd} = 0,810$; $q = 0,99$; $n = 31$).

Диафорез третьего этапа (кианитовый тип кислотного выщелачивания) приводит к перекристаллизации, перераспределению в породе и снижению содержания графита (табл. 3).

Аллохимические процессы четвертого этапа (мусковитовый тип кислотного выщелачивания при повышенном потенциале калия и натрия) опять обуславливают увеличение содержания графита в гнейсе-4 (табл. 3), которое значимо коррелирует с содержанием кристаллизационной воды ($r_{Gr-H_2O} = 0,733$, $q = 0,95$, $n = 9$).

Таблица 3

Содержание графита в образцах метаморфических разновидностей гнейсов, об. %

Разновидности гнейсов	Число образцов	Минимальное	Среднее	Максимальное	Стандартное отклонение
Гнейс-1	3	0,13	0,21	0,31	0,09
Гнейс-2	13	0,12	0,67	2,44	0,65
Гнейс-3	6	0,09	0,37	0,90	0,35
Гнейс-4 ₁	5	0,20	1,05	2,61	1,01
Гнейс-4 ₂	9	0,06	0,77	2,45	0,73

Прямым указанием на присутствие флюида при формировании нерастворимого УВ служат наблюдавшиеся в электронно-микроскопических препаратах в графите гнейса-2, 4₂ полифазные включения (рис. 3), которые, судя по характеру контрастности изображения, могут в различных пропорциях содержать газ, жидкость и твердую фазу. Наблюдалась их гомогенизация при нагреве. В графите гнейса-4₂ также имеются твердофазные включения, выполненные веществом с плотностью, большей, чем у графита (рис. 3, Б).

В связи с этим необходимо отметить, что в газожидких включениях в породообразующих минералах чупинских гнейсов наряду с сероводородом, водородом, радоном, окисью и двуокисью углерода, окисью азота присутствует растворимое УВ: формальдегид; 2–3 вида аминов; 60 видов алканов и алкенов (от C_1 до C_{42}); 10 видов полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), среди которых резко преобладают нафталин и фенантрен [5, 6]. Присутствие этих ПАУ является признаком небиохимической эндогенной природы УВ [7].

Повышенное содержание растворимого УВ характерно для минералов пегматитов и обрамляющих их пород в ореолах мощностью 50–100 м, прослеживающихся по падению и восстанию жил [5]. Эти ореолы отвечают зонам дилатансии в областях активного динамического влияния пегматитоконтролирующих сдвиговых деформаций четвертого тектоно-метаморфического этапа, благоприятствующим проявлению процессов свекофеннского

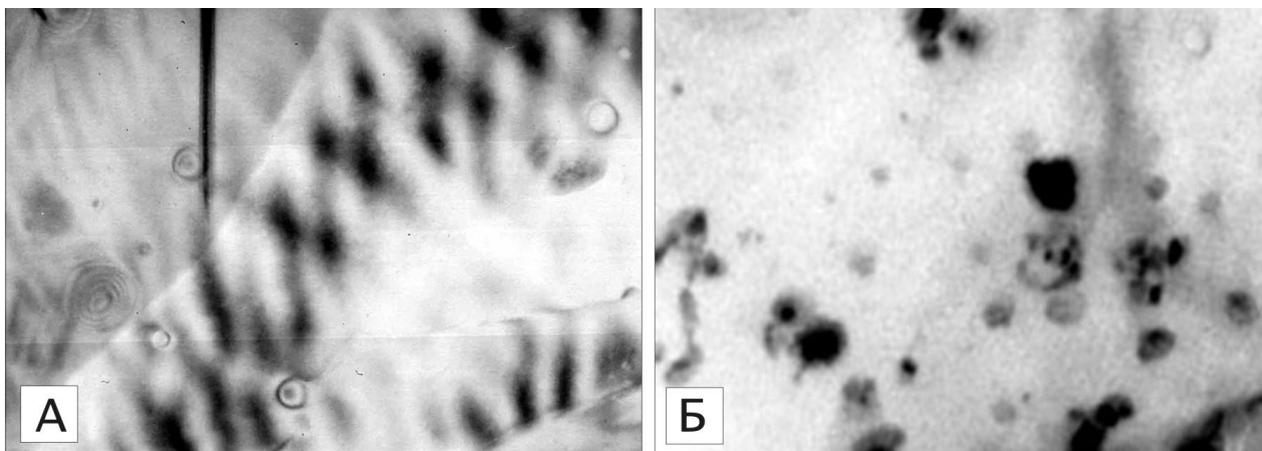


Рис. 3. Включения в графите:

А – препарат графита из гнейса-2 (увеличение $\times 30 \cdot 10^3$); Б – препарат графита из гнейса-4₂ (увеличение $\times 40 \cdot 10^3$)

диафтореза и аккумуляции золота [3, 4]. Хотя гнейсы четвертой минеральной фации характеризуются увеличением содержания растворимого [5] и нерастворимого (табл. 3) УВ, а также золота [3, 4], эти компоненты распределяются в породе иначе по сравнению с гнейсом-2. Так, например, для гнейса-4₃ установлена взаимнообратная зависимость содержания графита и золота ($r_{Gt-Au} = -0,553$, $q = 0,90$, $n = 8$). В той же разновидности гнейсов намечается положительная корреляция содержания графита, платины и палладия. Их сопряженное концентрирование отмечалось и в пространственно связанных с пегматитами зонах изменения пород хетоламбинской толщи беломорид [8].

Материалы проведенного исследования позволяют аргументировать следующие выводы.

Гнейсы чупинской свиты являются низкоуглеродистыми породами, в которых УВ присутствует в растворимой и нерастворимой формах.

Большая часть УВ метаморфических разновидностей гнейсов имеет эндогенную природу и формируется в процессе полиэтапной тектоно-метаморфической переработки их протолита. Аккумуляция УВ в гнейсах отчетливо связана с двумя эта-

пами аллохимических процессов, для которых характерен повышенный потенциал калия (образование минеральных фаций: гнейс-2 – в позднем архее и гнейс-4 – в раннем протерозое).

Содержание УВ в породах беломорского комплекса может использоваться как поисковый критерий благороднометалльного оруденения.

Золото-платиноидные проявления в гнейсах чупинской свиты, как уже отмечалось ранее [3, 4 и др.], могут рассматриваться в качестве новых объектов, наиболее близких к классу полигенных месторождений и рудопроявлений полиметалльной формации углеродсодержащих пород и продуктов их преобразования [9]. Для этой формации характерны так называемые «крупнообъемные» месторождения с невысоким содержанием (1,5 – 4,5–5 ppm), но большими запасами золота, промышленное значение которых постепенно возрастает [10]. Потенциальная возможность обнаружения рудопроявлений подобного типа, а также комплексных благороднометалльных в породах беломорского комплекса определяет необходимость их дальнейшего целенаправленного изучения.

1. Ручьев А. М. О протолите северокарельских гнейсов чупинской свиты беломорского комплекса // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 2. Петрозаводск, 2000. С. 12–25.

2. Ручьев А. М. Подвижность редкоземельных элементов и возникновение европиевых аномалий при метаморфизме (на примере парагнейсов чупинской свиты, беломорский комплекс) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 3. Петрозаводск, 2001. С. 99–106.

3. Ручьев А. М. Благородные металлы в гнейсах чупинской свиты (беломорский комплекс, Северная Карелия) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 5. Петрозаводск, 2002. С. 47–58.

4. Ручьев А. М. Благородные металлы в гнейсах чупинской свиты (беломорский комплекс) // Геология и геодинамика архея: Материалы I Рос. конф. по проблемам геологии и геодинамики докембрия (27–29 сентября 2005 г.). СПб., 2005. С. 324–329.

5. Бушев А. Г. Геоэкологическое картирование мусковитовых месторождений по токсичным органическим веществам // Геоэкологическое картографирование:

Тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. Ч. II: Методы региональных геоэкологических исследований и картографирование. М., 1998. С. 161–163.

6. Богомолов О. Н., Бушев А. Г., Кудрин В. С. и др. Токсичные органические вещества в рудах твердых полезных ископаемых и их влияние на экологическую обстановку // Геоэкология. 1996. № 3. С. 113–123.

7. Углеродистое вещество в метаморфических и гидротермальных породах / Д. Х. Мартихаева, В. А. Макрыгина, А. Е. Воронцова, Э. А. Развозжаева. Новосибирск, 2001. 127 с.

8. Ахмедов А. М., Шевченко С. С., Симонов О. Н. и др. Новые типы проявлений комплексной благороднометалльной минерализации в зеленокаменных поясах позднего архея Карело-Кольского региона // Геология и геодинамика архея. СПб., 2005. С. 34–38.

9. Додин Д. А., Чернышов Н. М., Яцкевич Б. А. Платинометалльные месторождения России. СПб., 2000. 735 с.

10. Гончаров В. И., Буряк В. А., Горячев Н. А. Крупнообъемные месторождения золота и серебра вулкано-генных поясов // Доклады АН. 2002. Т. 387, № 5. С. 678–680.

МАНТИЙНЫЙ ДИАПИРИЗМ И ПРОБЛЕМА БИМОДАЛЬНОСТИ ДОКЕМБРИЙСКОГО МАГМАТИЗМА

А. П. Светов, Л. П. Свириденко

Институт геологии Карельского НЦ РАН, Петрозаводск; Sv@krc.karelia.ru

Традиционно на Фенноскандинавском щите принято граниты классифицировать как раннеорогенные, позднеорогенные и посторогенные, обосновывая таким образом существование

орогенного цикла. Ярким примером является свекофеннский орогенный цикл (Финляндия, Швеция). Палеовулканологические исследования одновозрастных раннепротерозойских (све-