

В. Т. СВИРИДЕНКО, В. Н. ВЕРХАЛО-УЗКИЙ
**ПЕТРОХИМИЯ ГРАНИТОВ РАПАКИВИ
ВИТИМО-АЛДАНСКОГО ШИТА**

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 5 IV 1973)

Граниты рапакиви являются характернейшей формацией протоплатформ наряду с формациями расслоенных титано-никеленосных габбро-норитов и докембрийских траппов, и служат индикатором установления платформенного режима (¹, ²). Граниты формации рапакиви выделяются из всего многообразия докембрийских пород гранитного состава своеобразием петрографии, постоянством петрохимических свойств, металлогенией и до сих пор окончательно не выясненным происхождением. Всестороннее изучение гранитов рапакиви — одна из самых важных задач петрологии (³).

В предлагаемой статье рассматриваются главнейшие особенности химизма гранитов рапакиви Витимо-Алданского щита в сравнении с рапакиви классических районов их развития. Петрохимические особенности формации рапакиви настолько определены и своеобразны, что уже сами по себе являются весьма существенным элементом формационного анализа докембрийских гранитоидов.

В юго-западной части Витимо-Алданского щита широко развиты гранитоиды кодарского комплекса, принадлежность которых формации рапакиви показана ранее одним из авторов (¹). По ряду петрологических признаков в пределах того же региона к формации рапакиви нами отнесены некоторые разновидности докембрийских гранитов Южно-Учурского и Улканского полихронных массивов. Радиологический возраст описываемых комплексов, определенный различными методами, лежит в пределах 1800—2100 млн лет. В структурно-тектоническом отношении гранитоиды кодарского комплекса приурочены к Кодаро-Удоканскому эндопротоплатформенному прогибу, где они образуют крупные плитообразные массивы: Кодарский (2400 км²), Кеменский (860 км²), Каларский (762 км²) и ряд более мелких тел. По мнению В. С. Федоровского (⁴), отдельные массивы комплекса представляют собой фрагменты единого гигантского лополита.

Формирование комплекса происходило в две последовательные фазы. Первая (главная) фаза — равномернозернистые и резко порфиридные (местами с отчетливой структурой рапакиви) биотитовые, реже биотитроговообманковые граниты и их фациальные разновидности. Вторая фаза (дополнительных интрузий) — гранит-порфиры, мелкозернистые биотитовые, реже турмалиновые граниты, безовоидные питерлиты и псевдосферолитовые кварцевые порфиры. Незначительно развиты породы жильной серии: аплиты, зональные пегматиты, кварцевые, кварц-турмалиновые и кварц-карбонатные с флюоритом жилы. Генетически и пространственно с гранитоидами комплекса связаны редкие зональные дайки, состав которых меняется от эссекситов и габбро-сиенитов в центре через конгадиабазы до авгитовых порфиритов — в зонах закалки.

В петрографии гранитов кодарского комплекса, особенно в составе и последовательности выделения минералов, наблюдается почти полная тождественность с комплексами рапакиви Балтийского щита, Украины, Гренландии и других протоплатформ. Следует подчеркнуть главнейшие петрографические особенности комплекса, позволяющие отождествить его с породами формации рапакиви. 1. Выделение вслед за андезином на ранних стадиях кристаллизации промежуточного ортоклаза или кварца. Образование редких оболочек олигоклаза вокруг порфировкрапленников ортоклаза.

2. Наличие пойкилопегматитовых симплектитов в зональных кристаллах калинатрового полевого шпата. 3. Характерная темная, а иногда и черная окраска и идиоморфные ограничения кварца. 4. Выделение темноцветных минералов на поздних стадиях кристаллизации гранитного расплава. 5. Присутствие в составе темноцветных минералов редких кристаллов реликтового пироксена и оливина. 6. Исключительно высокая железистость (F) биотита (до 83%) и роговой обманки (70—80%), сопоставимая лишь с аналогичными минералами классических комплексов рапакиви (81—85 до 100% и 75—83% соответственно).

Петрохимия гранитов кодарского комплекса, как и формации рапакиви в целом, характеризуется рядом примечательных особенностей. Проверка при помощи метода дискриминантных функций, многократной корреляции и критерия Стьюдента на БЭСМ-4 в вычислительном центре института показали, что гранитоиды кодарского комплекса и формации рапакиви в целом с $P=0,99$ отличаются по химизму от докембрийских гранитоидов всех щитов и с той же достоверностью сходны между собой. В ряде работ (^{3, 5, 6}) уже неоднократно подчеркивались такие петрохимические особенности рапакиви, как постоянство отношения $K:Na$, высокая общая железистость, низкие содержания MgO . На примере кодарских гранитов и на основе сравнения их с петрохимией классических рапакиви Балтийского щита, Украины и Гренландии установлены их дополнительные петрохимические критерии: низкое отношение $Fe^{3+}:Fe^{2+}$, пониженное содержание Al_2O_3 , исключительное постоянство содержания Na_2O . Такие же параметры, как количество CaO и MnO , не показательны при характеристике формации рапакиви.

Средние химические составы и некоторые петрохимические коэффициенты гранитов кодарского комплекса и формации рапакиви различных регионов приведены в табл. 1. Видно, что содержание петрогенных окислов в рапакиви отличается редким постоянством, сохраняющимся для большинства пространственно разобщенных плутонов различных протоплатформ. Наблюдаемые при этом незначительные отклонения связаны либо с недостаточной представительностью выборки (как, например, массив Голд-Бьют, Невада), либо с наложением более поздних процессов.

Основные черты химизма гранитоидов кодарского комплекса и гранитов рапакиви в целом сводятся к следующему.

1. Среднее содержание SiO_2 в рапакиви различных регионов варьирует от 68 до 73%, т. е. они имеют устойчивый умеренно кислый состав.

2. Содержание Al_2O_3 — стабильная и очень характерная величина, не превышающая 14%. Главная масса разновозрастных гранитоидов Алдаского, Балтийского, Украинского щитов и их складчатых обрамлений содержит Al_2O_3 , в количестве порой значительно большем 14%. Таким образом, рапакиви обладают минимальным содержанием глинозема из всех гранитоидных формаций докембрия.

3. Суммарное количество железа в рапакиви примерно соответствует таковому в обычных типах гранитоидов, но среднее содержание FeO (при условии равенства SiO_2) всегда выше, чем в гранитоидах других формаций (за исключением чарнокитовой), в то время как количество Fe_2O_3 резко понижено. По содержанию окисного железа рапакиви приближаются к лейкократовым гранитам, аляскитам и аплитам.

Гранитоиды кодарского комплекса и формации рапакиви в целом выделяются исключительно высокой общей железистостью в сочетании с высокой железистостью темноцветных минералов. Последняя не столько является функцией общего высокого содержания железа в магме, сколько зависит, как показала Л. П. Свириденко (⁷), от физико-химических условий кристаллизации высокотемпературной магмы при меняющихся значениях P_o . Температура исходной магмы кодарского комплекса, как и других массивов формации (⁷), определенная по титан-магнетитовому геотермометру Баддингтона и парагенезисам контактовых роговиков, составляет

Таблица 1

Средние химические составы гранитоидов формации рапакиви (%)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	71,95	72,66	70,65	69,80	72,61	70,60	68,15	72,54	71,84
TiO ₂	0,30	0,27	0,44	0,44	0,26	0,43	1,50	0,25	0,47
Al ₂ O ₃	13,09	13,18	13,14	13,80	12,94	13,83	13,89	13,53	13,27
Fe ₂ O ₃	0,81	1,18	1,18	0,79	1,53	1,23	1,32	0,66	1,22
FeO	3,02	2,24	3,27	3,54	2,21	2,15	2,80	2,43	2,09
MnO	0,06	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05
MgO	0,58	0,23	0,58	0,45	0,23	0,62	1,06	0,31	0,53
CaO	1,67	0,69	1,76	2,25	0,94	1,83	2,34	1,34	1,45
Na ₂ O	2,78	3,66	2,90	2,92	2,77	2,77	2,91	2,83	2,79
K ₂ O	4,96	5,13	5,00	5,99	5,37	5,46	4,98	5,30	5,05
F ₂ O ₅	0,14	0,10	0,13	—	—	0,17	0,28	—	0,13
φ	76	88	78	82	80	79	74	77	76
k	1,17	0,92	1,13	1,36	1,25	1,29	1,13	1,22	1,18
F	89,0	88,0	80,5	83,0	88,0	74,5	67,5	85,4	76,7
f _{ок}	0,27	0,53	0,36	0,22	0,69	0,57	0,47	0,27	0,58

Примечания. 1 — рапакиви кодарского комплекса (103 анализа); 2 — рапакивиобразные граниты Улданского массива (15); 3 — рапакиви Украинского щита (58⁽¹⁰⁾); 4 — средневзвешенный состав рапакиви Выборгского плутона (по⁽¹¹⁾); 5 — рапакиви Салминского плутона (25⁽¹⁾); 6 — Ретан-граниты, Швеция (9⁽¹²⁾); 7 — рапакиви массива Голд-Бьют, Невада (2⁽¹³⁾); 8 — рапакиви Южной Австралии (5⁽¹⁴⁾); 9 — рапакиви Западного Прибайкалья (14⁽¹⁵⁾). $\phi = (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ ат.%; $k = \text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (ат. отнош.); $F = (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)/(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})$ ат.%; $f_{\text{ок}} = \text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ (вс. отнош.).

850—900°, $P_{\text{O}_2} = 1,35 \cdot 10^{-7} - 2,90 \cdot 10^{-8}$ атм. Общая железистость (F) гранитоидов кодарского комплекса (89%) превышает железистость всех остальных докембрийских гранитоидов Алданского щита (60—70%) и среднего гранита Забайкалья (62,8%). Подобная картина установлена для формации рапакиви в целом ($F = 83,1\%$). По общей железистости они превышают докембрийские (72,7%), фанерозойские (64,4%) и граниты всех периодов (66,4%) — по Р. Дэли.

4. Указанная особенность формации рапакиви неоднократно подчеркивалась многими исследователями^(3, 6, 8). Однако при этом осталась незамеченной другая характерная их черта — низкое отношение $\text{Fe}_2\text{O}_3:\text{FeO}$ (коэффициент окисленности — $f_{\text{ок}}$). Вместе с тем $f_{\text{ок}}$ имеет большое петрологическое значение, являясь показателем глубинности формирования психодной магмы⁽⁸⁾, или величиной, обратно пропорциональной содержанию летучих в магме⁽⁹⁾. Изучение большого фактического материала по петрохимии разновозрастных и генетически разнородных гранитоидов различных регионов позволило установить, что гранитоиды формации рапакиви обладают минимальным $f_{\text{ок}}$ из всего многообразия гранитоидных пород. Наиболее близкими к ним в ряду докембрийских гранитоидов являются гранитоиды чарнокитовой формации, хотя по другим петрохимическим параметрам они резко различаются. Из табл. 1 и диаграммы соотношения $\text{SiO}_2 - f_{\text{ок}}$ (рис. 1) следует, что средневзвешенная величина $f_{\text{ок}}$ в гранитах рапакиви не превышает 0,60, в то время как для разновозрастных гранитоидов Алданского, Балтийского и Украинского щитов она всегда выше 0,70. Единственным исключением из пород формации рапакиви являются гранитоиды Салминского массива, для которых $f_{\text{ок}}$ достигает 0,69, причем главной причиной здесь, по нашему мнению, может быть длительное воздействие процессов окисления гранитов в континентальных условиях.

5. Среднее содержание MgO в кодарских гранитах и формации рапакиви редко превышает 0,60%, т. е. несколько ниже, чем в обычных слюдяных и роговообманковых гранитах, и приближается к количеству MgO в докембрийских гранитах, аляскитах, аплитах.

6. Содержание Na₂O ограничено жесткими рамками (2,7—3,0%). Более высокие содержания в рапакиви восточной части Витимо-Алданского щита и некоторых рапакиви Южной Гренландии связаны с интенсивно

проявленной альбитизацией фанерозойского этапа тектономагматической активизации.

7. Характерной особенностью петрохимии рапакиви является высокое содержание K_2O и его отношение к Na_2O . Средневзвешенное количество K_2O колеблется в различных комплексах от 4,98 до 5,99% (см. табл. 1) при коэффициенте вариации не более 15%. Отношение $K_2O:Na_2O$ постоянно выше 1,0. Оно изменяется от 1,13 до 1,36. Исключением здесь являются

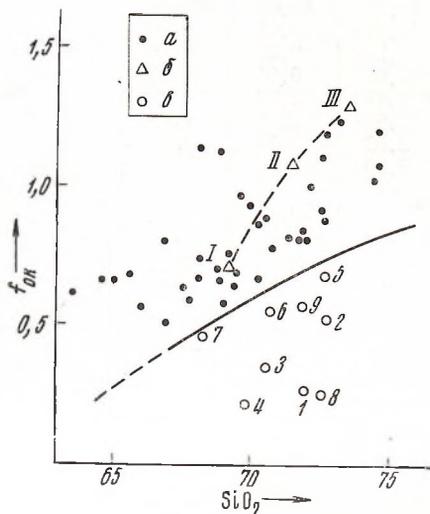


Рис. 1. График зависимости коэффициента окисленности от содержания SiO_2 . *a* — средние типы различных гранитоидов (данные Р. Дэли, В. Ф. Морковкиной, С. П. Соловьева); *б* — докембрийские гранитоиды центральной части Алданского щита (*I* — чарнокиты, *II* — гнейсовидные граниты, *III* — аляскиты, данные В. Н. Верхало-Узкого); *в* — гранитоиды формации рапакиви (цифры соответствуют номерам в табл. 1)

рапакивиобразные граниты Улканского массива, у которых $K_2O:Na_2O=0,92$, что связано с последующей альбитизацией.

Таким образом, из изложенного выше вытекает: 1) гранитоиды Витимо-Алданского щита, по петрохимическим данным, несомненно принадлежат формации рапакиви; 2) характерными петрохимическими особенностями формации являются, помимо известных уже повышенной железистости и преобладания K_2O над Na_2O , исключительное постоянство содержания этих элементов, а также Al_2O_3 , MgO и низкий коэффициент окисленности, что может указывать на значительную глубину формирования исходной магмы рапакиви; 3) рапакиви содержат минимальное количество Al_2O_3 среди других гранитоидных формаций; 4) граниты рапакиви Витимо-Алданского щита и формации рапакиви в целом резко отличаются от всего многообразия докембрийских гранитоидных формаций и только по некоторым петрохимическим параметрам приближаются к кислым чарнокитам, аляскитам, аплитам; 5) для формационной идентификации рапакиви необходимо использовать весь комплекс перечисленных петрохимических параметров в сочетании с другими петрологическими особенностями.

Всесоюзный научно-исследовательский геологический институт
Ленинград

Поступило
3 IV 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Т. Свириденко, Зап. Забайкальск. фил. геогр. общ. СССР, т. 69, в. 9 (1972).
- ² К. А. Шуркин, Ф. П. Митрофанов, Тез. симп. Специфика докембрийского магматизма, 1972.
- ³ Н. Г. Судовиков, Проблема рапакиви и позднерожденных интрузий, М.—Л., 1967.
- ⁴ В. С. Федоровский, Стратиграфия нижнего протерозоя хребтов Кудар и Удокан, М., 1972.
- ⁵ Ю. А. Кузнецов, Главнейшие типы магматических формаций, М., 1964.
- ⁶ В. С. Соболев, Уч. зап. Львовск. гос. унив., т. 6, геол., в. 5 (1947).
- ⁷ Л. П. Свириденко, Тр. Инст. геол. Кольск. фил. АН СССР, в. 3 (1968).
- ⁸ Ю. С. Куцев, Изв. АН СССР, сер. геол., № 11 (1964).
- ⁹ Дж. К. Кеннеди, Сборн. Вопр. физ.-хим. в минерал. и петрогр., ИЛ, 1950.
- ¹⁰ В. М. Сидоров, Химические анализы гранитоидов украинского докембрия, Киев, 1970.
- ¹¹ К. О. Крауц и др., Изв. АН СССР, сер. геол., № 5 (1970).
- ¹² Н. V. Ecker mann, The Loos Namra Region, Geol. Fören i Stockholm Förl., В. 58, № 2 (1936).
- ¹³ A. Volborth, Bull. Geol. Soc. Am., v. 73, № 7 (1962).
- ¹⁴ G. A. Joplin, Chemical Analyses of Australian Rocks, Part 1, Canberra, 1963.
- ¹⁵ А. С. Ескин, С. П. Обухов, П. М. Хренов, ДАН, т. 200, № 4 (1971).