



ТИМАНИТ — УНИКАЛЬНАЯ ВЫСОКОТИТАНИСТАЯ УЛЬТРАКАЛИЕВАЯ РАЗНОВИДНОСТЬ ТРАХИТА: СРЕДНИЙ ТИМАН, ПОЗДНИЙ ПАЛЕОЗОЙ

Д. г.-м. н.

Б. А. Мальков*
elmal@online.ru

С. н. с.

В. Н. Филиппов

К. г.-м. н.

И. В. Швецова
litgeo@geo.komisc.ru

* Коми госпединститут, Сыктывкар

На юго-востоке Четласского Камня, в районе Ворыквинской группы месторождений латеритных бокситов, перекрытых покровами франских толеитовых базальтов, вскрыты канавами и буровыми скважинами дайкообразные крутопадающие северо-западного (тиманского) простирания тела ультракалиевых калишпатитов, мощностью 30—50 м и протяженностью до 2 км, с уникальным петрографическим и минеральным составом и необычным для магматитов Тимана позднепалеозойским послетрапповым возрастом (рис. 1). Аналогичные горные породы, залегающие в виде мощной (около 9 м) крутопадающей дайки среди живецких отложений, были обнаружены ухтинскими геологами в другом районе Среднего Тимана — на Цильменском Камне, в 100—120 км к северу от р. Ворыквы, в истоках Цильмы и ее притока Аштуги (рис. 1). Разные исследователи относили эти необычные тиманские породы к магматическим (интрузивным) или метасоматическим образованиям, называя их сиенитовыми аплитами, калишпатитами, микроклинитами, ортоклазитами, и предполагали их девонский возраст. Серьезные попытки выяснения петрографической природы, формационной, фациальной принадлежности и возраста этих во многом уникальных не только для Тимана пород никем не предпринимались. Знаменательно, что дайкообразные тела калишпатитов прорывают франские базальты. А их собственный изотопный

возраст, определенный К-Аг методом по трем валовым пробам, составляет 271—288 млн лет, отвечая ранней перми [14]. Магматические породы такого же возраста широко распространены на Урале, особенно на Среднем и Южном [25], и в Полярном Зауралье. В кристаллическом фундаменте Западно-Сибирской плиты в районе Ханты-Мансийска присутствуют гранодиориты с Rb-Sr изохронным возрастом 291.8 ± 2.1 млн лет [8]. Гранит-аплиты с К-Аг возрастом 280 ± 14 млн лет, рвущие ордовикские кварциты, известны в Тынаготском массиве на восточном склоне Приполярно-

го Урала [10]. Такой же К-Аг по биотиту и мусковиту возраст (260—280 млн лет) имеют редкометалльные микроклинпертитовые розовые лейкограниты кременкульской серии, слагающие два крупных штока — в центре и на юго-востоке крупного Челябинского гранитоидного плутона на Южном Урале возрастом 355—360 млн лет, определенным Pb—Pb методом Кобера по циркону [21]. Челябинский плутон принадлежит к главному гранитному поясу Урала и относится к надсубдукционным образованиям, а штоки кременкульской серии принадлежат уже к позднеколлизийным уральским гранитам [21]. На Южном Урале, южнее Магнитогорска, особенно широко распространены крупные коллизийные анатектические гранитные плутоны возрастом около 290 млн лет [25]. Все это позволяет уверенно связывать появление позднепалеозойских калишпатитов (трахитов) на Тимане с герцинской тектономагматической активизацией Русской платформы. Калиевые бостониты близкого абсолютного возраста (295—300 млн лет) известны также в Тараташском выступе кристаллического фундамента Русской платформы. Жильные тела бостонитов здесь имеют мощность до нескольких десятков метров, но трактуются чаще всего, как и у нас на Тимане, не как магматические породы, а как приразломные метасоматиты. Как видим, среди герцинских магматитов Урала и Зауралья нам не известны петрографические аналоги тиманским калишпатитам. Та-

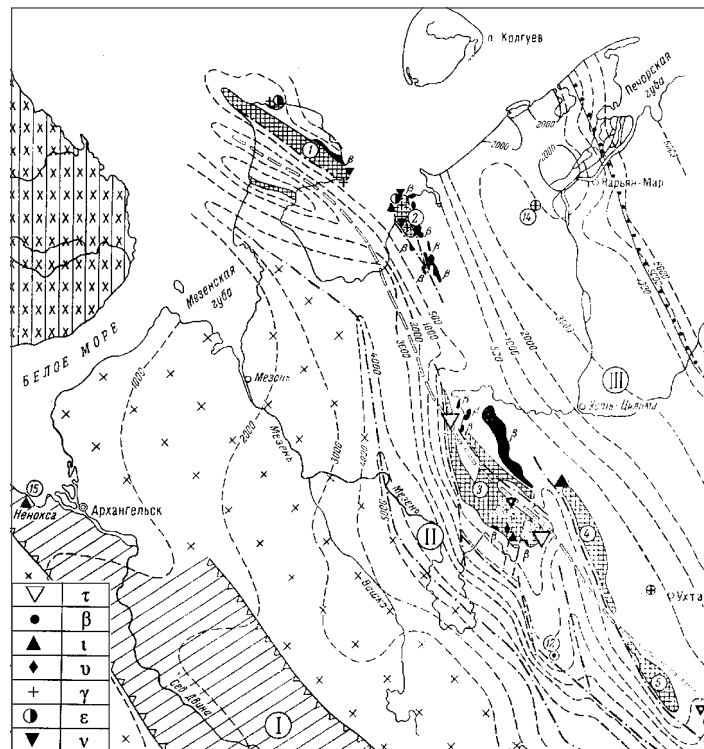


Рис. 1. Выходы позднепалеозойских трахитов (τ), девонских базальтов (β), лампрофиров (l), вендских карбонатитов (u), гранитов (g) и сиенитов (e), рифейских диабазов (v) на Тимане. Районы и участки (цифры в кружках): 1 — Канинский Камень; 2 — Тиманский Камень; 3 — Четласский Камень; 4 — Вымско-Вольская гряда; 5 — Очпарма. I — Котласский прогиб; II — Предтиманский прогиб; III — Печорская синеклиза. Пунктиром обозначены линии равных глубин карельского и рифейского фундамента

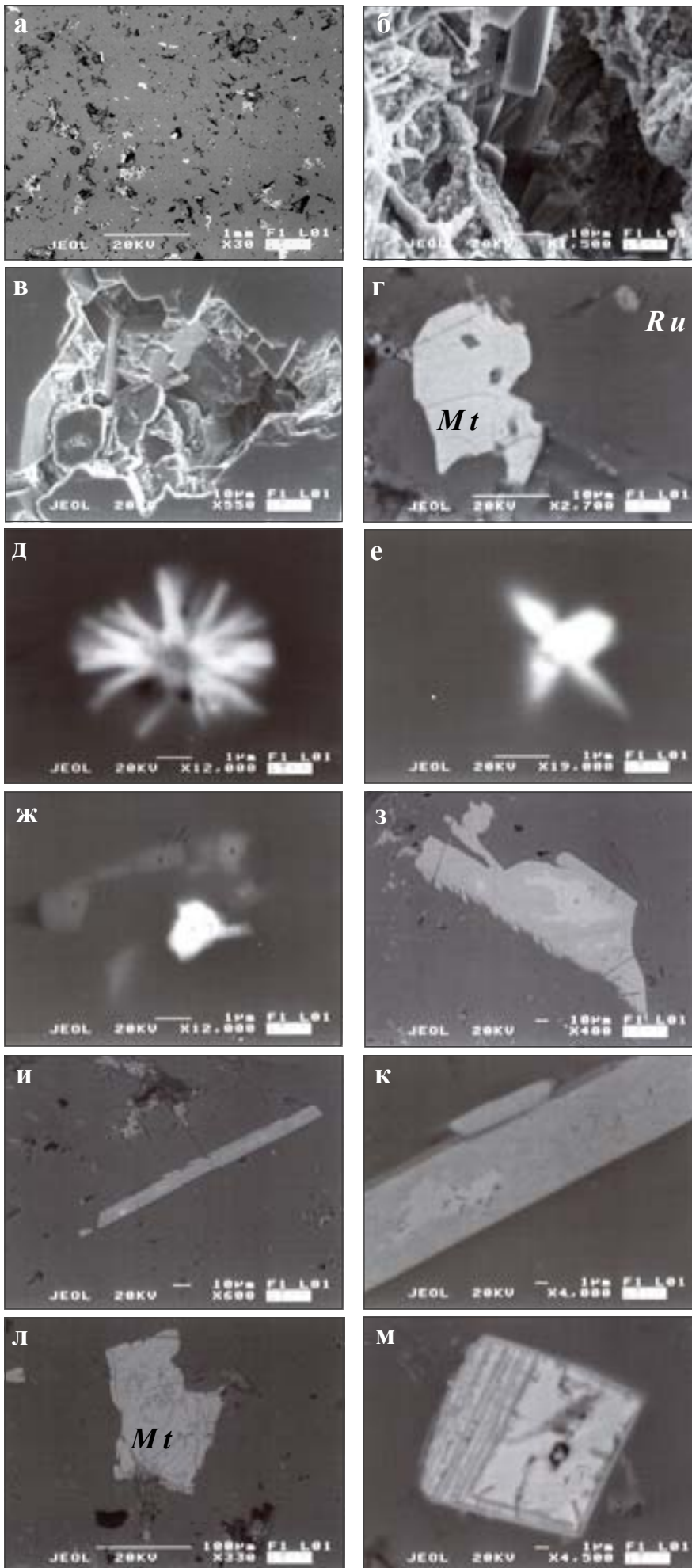


Рис. 2. Трахиты и их минералы под электронным микроскопом: а — рудные минералы (белое) и миаролы (черное) на фоне санидинового (серое) матрикса (изображение в упругоотраженных электронах); б, в — «санидиновые» миаролы, инкрустированные анатазом (изображение во вторичных электронах); г, д — изометричные в поперечном сечении и радиально-лучистые включения рутила в санидине; е, ж — изометричные зерна и крестообразные сростки бадделейта в санидине; з, и, к — пластинчатые включения ильменита в санидине; л, м — обогащенный цинком зональный титаномagnetит в санидине

кие аналоги мы обнаруживаем только в составе щелочных и карбонатитовых вулканических комплексов на древних платформах: Сибирской, Африканской и др. [12, 11]. Петрографические черты этих ультракалиевых калишпатитов, характерные особенности их минерального состава и фациального положения позволяют нам рассматривать их как новую уникальную высокотитанистую ультракалиевую разновидность трахитов, впервые встреченную на Тимане (табл. 1).

Тиманские трахиты — кайнотипные светло-розовые порфировидные (спорадогломерофирные) полнокристаллические микрозернистые миаролитовые породы с общей пористостью 17 % и плотностью около 2.4 г/см³ (рис. 2). Вкрапленники в тиманских трахитах представлены обычно разнообразными сростками нескольких индивидов калишпата (санидина). Самые крупные из них достигают 3—5 мм. Под микроскопом наблюдаются панидиоморфнозернистый агрегат тонких лейстовидных (удлинение 5:1) с простыми двойниками, хаотически ориентированных индивидов калишпата (санидина) размером 0.1—1.0 мм, замутненного рудным веществом и пронизанного тончайшими иголочками рутила (рис. 2, д), и обильная вкрапленность относительно крупных (0.1—0.5 мм) идиоморфных изометричных или удлиненных зерен лейкоксенизированного титаномagnetита, находящихся в интерстициях. Калишпата в породе 95, титаномagnetита — 4—5 об. %. Титаномagnetит претерпел фазовый распад с выделением lamелл ильменита и окисление. Ильменит в lamеллях частично превратился в обогащенный ванадием анатазовый лейкоксен с примесью гетита. На рентгенограммах окисленного титаномagnetита лучше всего индицируются линии ильменита, анатаза и рутила и отсутствуют четкие линии самого magnetита, кото-



Таблица 1

Химический состав ультракалиевых трахитов Среднего Тимана и их аналогов, мас. %

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	60.60	59.70	59.32	61.08	60.24	60.60	58.43	65.32	61.32	62.00
TiO ₂	2.10	2.10	2.65	2.00	2.13	1.80	0.34	0.08	0.89	0.57
Al ₂ O ₃	18.23	17.40	18.39	17.62	19.07	18.46	17.84	16.31	18.43	17.44
Fe ₂ O ₃	1.24	2.57	1.19	1.19	1.00	1.67	5.09	1.52	3.84	2.06
FeO	0.20	0.19	0.16	0.16	0.16	0.17	Нет	0.54	1.60	2.68
MnO	Сл.	0.03	Сл.	Сл.	Сл.	Сл.	0.42	Н.о.	0.01	0.12
MgO	0.10	0.31	0.41	0.23	0.28	0.33	0.43	0.26	0.46	0.91
CaO	0.36	0.32	0.50	0.39	0.39	0.36	0.80	Н.о.	1.45	2.26
Na ₂ O	0.07	0.12	0.05	0.12	0.14	0.16	0.38	0.43	5.75	5.86
K ₂ O	15.52	15.00	14.72	15.28	15.52	15.00	13.90	13.94	4.94	5.17
CO ₂	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Н.о.	Н.о.	—	—
P ₂ O ₅	0.07	0.20	0.25	0.24	0.23	0.17	0.35	0.03	—	0.17
H ₂ O ⁺	0.84	0.96	1.64	0.82	0.72	0.39	1.05	1.56	—	—
H ₂ O ⁻	0.08	0.66	0.86	0.18	—	0.32	0.11	—	—	—
ППП	(0.89)	(1.20)	(2.18)	(0.72)	(0.80)	(0.84)	—	—	1.31	0.76
Сумма	99.41	99.69	100.30	99.51	99.95	99.50	99.32	99.98	100.00	100.00

Примечание. Цифры в заголовке: 1—6 — ультракалиевые трахиты Четласского Камня, полный силикатный анализ [14]; 7 — трахиты Восточной Уганды [11]; 8 — муруниты Алданского щита [12]; 9 — средний бостонит по Дэли; 10 — средний щелочной сиенит по Дэли.

рый в результате окисления превратился в маггемит. В итоге место кристаллов титаномагнетита в породе заняли образовавшиеся по нему параморфозы из пластинок ильменита и ажурных и пористых агрегатов анатазового лейкоксена с высоким (до 4 мас. %) содержанием V₂O₅. На поверхности аншлифов видны многочисленные мелкие (менее 0.5 мм) миаролы с выступающими внутрь них «головками» идиоморфных зерен калишпата или же пустотки, инкрустированные по стенкам друзо-видными корочками анатаза. Последние, вероятно, наследуют угловатые очертания полностью выщелоченных и замещенных зерен титаномагнетита (рис. 2, а—в). Наблюдаются все стадии такого замещения. Порода по формальным петрографическим и петрохимическим признакам может быть отнесена к щелочным сиенитовым аплитам-бостонитам [6] или к трахитам [9] ультракалиевого типа (табл. 1). Обращают на себя внимание предельно высокое (14.7—15.5 мас. % K₂O) содержание калия в породе, отвечающее почти чистому калишпату, и низкие (до 0.16 мас. % Na₂O) содержания натрия, кальция (менее 0.5 мас. % CaO) и железа в сравнении со средним составом бостонита по Дэли. Примечательна высокая окисленность тиманских пород: значение Fe₂O₃/(FeO+Fe₂O₃) составляет у них приблизительно 0.86—0.93. По химическому и минеральному составам тиманские трахиты довольно близки мурунитам Алданского щита и калиевым трахитам восточной Уганды [12, 11]. Однако по очень высоким для средних пород содержаниям титана (1.8—2.6 мас. % TiO₂) тиманские породы не

имеют близких аналогов среди трахитов. Такому количеству TiO₂ в породе должно соответствовать равное (в ильмените), двукратное (в ульвите) или трехкратное (в титаномагнетите) весовое содержание FeO. Но во всех химических анализах наших пород мы наблюдаем явное преобладание окисного железа (1.0—2.6 мас. % Fe₂O₃) и почти следовые (не более 0.2 мас. %) содержания FeO. Поэтому значительная часть TiO₂ (до половины его весового содержания в породе) не связана с закисным железом и находится в составе анатаза и рутила, выстилающих стенки миарол в трахите (анатаз) или образующих игольчатые включения в санидине (рутил), которых особенно много вокруг вкрапленных титаномагнетита. Игольчатые выделения рутила образуют радиально-лучистые агрегаты или веерообразно расходящиеся от титаномагнетитовых вкраплений пучки, пронизывающие насквозь несколько прилежащих зерен санидина. Наблюдаются также участки пересекающихся в двух-трех направлениях рутиловых пучков, отдаленно напоминающие сагенитовые срастания. Встречаются в санидине и радиально-лучистые включения рутила микронной величины (рис. 2, д). Учитывая тесный активный (интрузивный) контакт тиманских трахитов с базальтами, можно было бы предположить их обогащенность титаном за счет вмещающих базальтов или глубинных базитовых субстратов. Об этом, в частности, свидетельствуют высокотитанистый, как в базальтах, состав нашего магнетита и обогащенность его и всех других минералов титана в трахитах ванадием (табл. 2—6), характерная, как известно, для основных

пород. Но титаномагнетит из тиманских трахитов не имеет близких аналогов по аномально высокому содержанию в нем ZnO (4.5—9.0 мас. %), предполагающему существенное участие в его составе ганитового или франклинитового миналов (рис. 2, л, м). Правда, присутствие следовых количеств цинка уже отмечалось ранее в титаномагнетитах из щелочных пород Хибинского массива [22]. Поэтому более вероятным представляется ортомагматическое происхождение такого титаномагнетита из самой трахитовой магмы. Действительно, наиболее распространенными акцессорными минералами типичных трахитов являются сфен, титаномагнетит, циркон и апатит [26]. И все эти минералы, кроме сфена, в наших породах присутствуют. Близкий по составу магнетит-ульвитовый титаномагнетит обычен в рудных пластах Бушвельдского плутона в ЮАР и Копанской расслоенной габбровой интрузии на Урале [7], а также отмечен в кислых и щелочных породах Кольского п-ова [5]. В крупнозернистых титаномагнетитах Хибинского массива из ийолит-уртитов и апатит-нефелиновых пород присутствует от 3 до 36 мол. % ульвита при содержании в минерале 16—18 мас. % TiO₂ [22]. Такое содержание титана отвечает, по геотермометру Баддингтона, температуре его образования 800—900 °С. И, что особенно примечательно, акцессорные титаномагнетиты с высоким содержанием TiO₂ (23.7—24.9 мас. %) присутствуют в пантеллеритовых лавах Италии, где сосуществуют с марганцовистым ильменитом. Таким составом титаномагнетита, равновесным с ильменитом, соответствуют



Таблица 2

Химический состав анатаза и рутила в ультракалиевых трахитах Среднего Тимана, мас. %

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	1.30	1.98	2.19	1.30	1.67	13.60	—	23.48	—
Al ₂ O ₃	0.46	0.95	0.51	—	0.94	3.96	—	7.79	—
TiO ₂	89.60	88.44	86.82	81.05	77.30	68.60	93.98	48.14	90.02
Fe ₂ O ₃	2.09	1.16	1.36	1.64	1.43	1.10	1.51	1.53	2.86
V ₂ O ₅	3.15	3.41	2.75	2.98	2.90	2.53	3.47	1.69	3.16
Cr ₂ O ₃	0.92	0.24*	0.78	0.62	—	—	—	—	—
ZrO ₂	0.90	0.49*	—	0.45*	—	0.68	0.93	1.85	1.85
MnO	—	—	—	—	—	0.31	0.42	0.39	0.73
CaO	—	0.73	—	—	1.21	—	—	5.75	—
P ₂ O ₅	—	—	—	—	1.22	—	—	3.42	—
K ₂ O	0.39	0.46	0.42	—	0.43	3.78	—	5.23	—
Сумма	98.85	98.15	94.83	88.78	87.12	94.68	100.00	99.28	100.00

Примечание. 1—5 — анатаз, выстилающий стенки миарол в трахитах; 6, 7 — радиально-лучистый рутиловый сросток (длина лучей около 2 мкм) в санидине: его прямой анализ и скорректированный состав; 8, 9 — микровключение (~1 мкм) рутила (вблизи зерна бадделейта) в санидине: его прямой анализ и скорректированный после вычета компонентов санидина и апатита состав. В табл. 2—6 приведены микронзондовые анализы (оператор В. Н. Филиппов). Следовые содержания компонентов отмечены звездочкой.

Таблица 3

Химический состав титаномагнетита, магнетита, ильменита, мас. %

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	0.45	15.82	22.04	19.33	—	—	30.35	—
Al ₂ O ₃	0.96	6.57	8.25	7.48	—	—	9.23	—
K ₂ O	0.26	2.91	3.74	3.80	—	—	7.02	—
TiO ₂	25.00	14.06	1.71	2.92	4.00	2.73	22.09	46.61
Fe ₂ O ₃	63.30	57.97	65.77	63.45	86.93	94.28	23.39	49.35
V ₂ O ₅	0.41*	0.39*	3.49	5.29	7.25	3.06	1.91	4.03
Cr ₂ O ₃	—	—	2.13	1.28	1.75	—	—	—
ZrO ₂	0.07*	—	0.25*	0.46*	—	—	2.73	—
ZnO	5.71	4.63	—	—	—	—	—	—
MnO	0.35	0.45	0.22*	0.22*	—	—	—	—
CaO	—	—	0.16*	—	—	—	—	—
Сумма	96.53	102.79	107.76	104.23	99.93	100.00	96.87	99.99

Примечание. 1 — микровключение (около 10 мкм) титаномагнетита в санидине; 2 — микровключение (примерно 2 мкм) титаномагнетита в санидине; 3, 4 — микровключения (~1—2 мкм) малотитанистого ванадомагнетита в санидине; 5 — скорректированный состав последнего (ан. 4); 6 — микровключение (~1 мкм) ванадомагнетита рядом с включением бадделейта в санидине: состав магнетита скорректирован после вычета компонентов санидина; 7 — микровключение (~1 мкм) ильменита рядом с включением бадделейта в санидине; 8 — скорректированный состав того же ильменита.

Таблица 4

Химический состав титаномагнетита и ильменита в трахитах Среднего Тимана, мас. %

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	0.60	0.46	0.45	2.54	0.35	—	0.51	—	—
Al ₂ O ₃	1.49	1.18	0.96	1.64	0.82	—	0.49	—	—
K ₂ O	—	—	0.26	0.69	0.28	—	—	—	—
TiO ₂	27.69	27.23	25.00	26.12	28.12	48.94	61.20	48.72	63.39
Fe ₂ O ₃	62.61	62.72	63.30	57.62	53.48	48.84	38.02	49.52	35.09
V ₂ O ₅	—	—	0.41*	0.05*	0.80	0.61	—	0.88	1.32
Cr ₂ O ₃	—	—	—	—	0.70	—	—	—	—
ZrO ₂	—	—	0.07*	—	—	—	—	—	—
ZnO	4.43	4.91	5.71	7.63	8.66	—	—	—	—
MnO	0.52	0.43	0.35	0.69	0.83	0.98	—	0.58	—
Сумма	97.33	96.93	96.53	96.99	94.03	99.36	100.0	99.80	100.0

Примечание. 1, 2 — Zn-титаномагнетит (~100 мкм) в санидине; 3, 4 — два разных зерна Zn-титаномагнетита (~10 мкм) в санидине; 5 — зональное зерно Zn-титаномагнетита (~14 мкм) в санидине; 6, 7 — внутренняя (реликтовая) и внешняя (преобладающая) части пластинки (толщиной 8 мкм) зонального ильменита в санидине; 8, 9 — внутренняя (реликтовая) и внешняя (основная) области неправильного включения (~80—100 мкм) зонального ильменита в санидине.

температуры его кристаллизации 903—1005 °С [31]. Зерна аксессуарных титаномагнетитов с возрастающим содержанием ульвита от ядер к каймам от 17 до 23 мол. % и с соответствующим увеличением весового содержания TiO₂ от 6 до 8 мас. % присутствуют в современных дацитах Японии. Температура дацитовой магмы, судя по составу железотитановых оксидов в ядрах и каймах зерен титаномагнетитов, составляла от 780—800 до 900±30 °С [28]. Примерно такие же температуры плавления сухого тоналита (от 900 до 1000 °С) были получены экспериментально в диапазоне давлений 15—32 кбар [29]. Как видим, высокое содержание TiO₂ в аксессуарном титаномагнетите и модельные эксперименты на породах близкого (правда, несколько более кислого, чем у трахитов) состава убеждают в высокотемпературной (900—1000 °С) природе высокотитанистой трахитовой магмы.

Условия залегания тиманских ультракалиевых пород близки к субвулканическим. Поэтому правильнее называть их трахитами, а не сиенитовыми аплитами и бостонитами, как мы полагали ранее [14]. Действительно, если бостониты — это типичные гипабиссальные аплитовидные ортомагматические породы, генетически связанные с вмещающими их сиенитами, то среднетиманские трахиты интродуцируют франские базальты и примерно на 100 млн лет моложе последних, т. е. не обнаруживают с ними генетической связи. Судя по геологическим разрезам района бокситовых месторождений [3], трахиты кристаллизовались в ранней перми на глубине не более 200—300 м и, по-видимому, имели выход на палео-поверхность. Их высокая кавернозность, замещение титаномагнетита агрегатами лейкоксена — вероятный результат автотасоматической переработки остывавших трахитов, которая сопровождалась окислением и разложением титаномагнетита, а также дополнительным привнесом в трахиты калия и, возможно, других компонентов. Породообразующий калишпат тиманских трахитов образовался в результате высокотемпературной кристаллизации из горячего ультракалиевого расплава. Нерасщепленность характерных дифракционных максимумов 131 и 130 на рентгенограммах калишпата свидетельствует об отсутствии в нем микроклина [16]. Дополнительные и решающие сведения о характере нашего калишпата дает ИК-спектроскопия.



Известно, что различия в степени Si/Al-упорядоченности калишпатов проявляются в положении максимумов ИК-спектров в области 600—650(ν_1) и 500—550 (ν_2) см^{-1} . Абсолютное их значение варьирует в зависимости от прибора и калибровки, но разность $\Delta\nu = (\nu_1 - \nu_2)$ устойчиво меняется от 90 см^{-1} в санидине до 110 см^{-1} в микроклине [20]. Степень ИК-упорядоченности определяется как $\theta = 0.05$ (Ду — 90). У санидинов $\theta = 0 \div 0.1$, у ортоклазов и адуляров — 0.1 \div 0.8, у микроклинов — 0.8 \div 1.0. По нашему калишпату на приборе Spexord M80 (аналитик Е. У. Ипатова, Институт химии Коми НЦ) было получено $\Delta\nu = 92 \text{ см}^{-1}$, что соответствует значению ИК-упорядоченности $\theta = 0.1$, типичной для санидинов. Таким образом, данные рентгенографии, кристаллооптики и ИК-спектроскопии позволяют нам однозначно диагностировать калишпат тиманских трахитов как санидин.

Главными петрографическими особенностями тиманских трахитов являются их анхимоминеральность (не менее 95 об. % санидина) и присутствие около 5 об. % акцессорного лейкоксенизированного титаномагнетита, обогащенного ванадием и хромом, а также конечных продуктов его фазового распада и замещения (ильменита, рутила и анатаза) вместо обычных темноцветных минералов. Кроме того, в шлифах и протоколках наблюдаются также единичные знаки циркона, бадделеита, апатита, пирита, муассanita, дистена. Абсолютным преобладанием санидина объясняется ультракалиевый характер тиманских трахитов, а обилием лейкоксенизированного титаномагнетита и продуктов его распада — повышенное содержание титана (до 2—2.6 мас. % TiO_2) в породе в сравнении со среднебостонитовой нормой (0.6—0.9 мас. %). Химический состав титаномагнетита, определенный микрозондом, указывает на исключительно высокое содержание в нем титана (до 28 мас. % TiO_2), более высокое, чем в аналогичном минерале из пантеллеритовых лав Италии (23.7—24.9 мас. % TiO_2) [31], из базальтов Исландии (24.9 мас. % TiO_2) и оливиновых базальтов Индии (27.8 мас. % TiO_2) [18]. Такая аномалия может быть следствием изначально очень высокого содержания в нем ульвитового минала. Фазовый распад первичного титаномагнетита привел к образованию в титаномагнетите закономерных ориентированных ламелл ильменита, а при их окислении — к возникновению ажурных агрегатов анатазового

Таблица 5

Химический состав рутила в трахитах Среднего Тимана, мас. %

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO_2	13.60	—	13.47	—	16.35	—	39.33	—
Al_2O_3	3.96	—	4.49	—	5.33	—	12.43	—
K_2O	3.78	—	3.20	—	3.90	—	11.33	—
TiO_2	68.60	93.98	65.83	89.20	64.04	89.66	21.13	81.77
Fe_2O_3	1.10	1.51	1.76	2.38	1.52	2.13	1.06	4.10
V_2O_5	2.53	3.47	3.38	4.58	3.12	4.37	0.83	3.21
Cr_2O_3	—	—	0.52	0.70	0.76	1.06	—	—
ZrO_2	0.68	0.98	1.72	2.33	1.47	2.06	2.85	11.03
Sc_2O_3	—	—	0.58	0.79	0.50	0.70	—	—
MnO	0.31	0.42	0.19*	—	—	—	—	—
CaO	—	—	0.30	—	0.25	—	—	—
Сумма	94.68	100.00	95.45	100.00	97.24	100.00	89.14	100.00

Примечание. 1, 2 — радиально-лучистый рутиловый сросток (с длиной лучей ~ 2 мкм) в санидине: его прямой и скорректированный после вычета компонентов санидина составы; 3, 4 — иглоочка рутила (поперечником ~ 3 мкм) в санидине: ее прямой и скорректированный составы; 5, 6 — та же иглоочка рутила: ее прямой и скорректированный составы; 7, 8 — рутилохозяин, вмещающий микронное включение бадделеита: его (рутила) прямой и скорректированный после вычета компонентов санидина составы.

Таблица 6

Химический состав бадделеита в трахитах Среднего Тимана, мас. %

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO_2	18.09	—	19.01	—	25.77	—	16.12	—	25.94	—
Al_2O_3	4.72	—	5.29	—	7.71	—	4.50	—	8.13	—
K_2O	4.88	—	4.72	—	7.22	—	3.85	—	7.99	—
TiO_2	3.90	5.42	3.83	5.25	1.81	3.00	7.14	9.92	9.41	17.50
Fe_2O_3	0.56	0.78	0.29*	—	—	—	10.91	15.16	0.47	0.87
V_2O_5	0.13*	—	—	—	—	—	0.70	0.97	0.43*	0.80*
ZrO_2	67.41	93.70	69.01	94.54	57.94	96.18	53.37	74.18	43.33	80.60
HfO_2	0.13*	0.18	0.08*	0.11	0.50*	0.83*	—	—	—	—
ZnO	—	—	—	—	—	—	0.27*	—	—	—
MnO	—	—	—	—	—	—	0.17*	—	—	—
CaO	0.57	—	0.50	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	100.20	100.00	102.56	100.00	100.13	100.00	97.09	100.00	95.65	100.00

Примечание. 1—4 — микровключение бадделеита (~ 1.5 мкм) в санидине: 1, 3 — его прямые анализы; 2, 4 — скорректированные составы после вычета компонентов санидина; 5, 6 — крестообразный двойник бадделеита (~ 1 мкм) в санидине: его прямой анализ и скорректированный составы; 7, 8 — треугольное микровключение бадделеита (~ 1 мкм) в санидине: его прямой анализ и частично скорректированный после вычета компонентов санидина состав; 9, 10 — бадделеит (~ 1 мкм) — узник рутила и санидина: его прямой и скорректированный после вычета компонентов санидина составы.

лейкоксена (рис. 2, б). Присутствие микронных включений бадделеита в санидине установлено под электронным микроскопом и подтверждено микрозондом (рис. 2, е, ж). Кристаллы циркона размером в десятые доли миллиметра и преимущественно овальной формы были обнаружены в протоколках. Абсолютный U-Pb возраст большинства овальных зерен циркона, определенный методом SHRIMP в Изотопном центре ВСЕГЕИ, составляет от 1 до 2.7 млрд лет и подтверждает их ксеногенную природу. Время кристаллизации самих трахитов было определено изотопным K-Ar методом и составило по трем валовым пробам 271—288 млн лет [14]. Уточнить абсолютный возраст трахитов возможно только по акцессорному сингенетическому бадделеиту, что мы рассчитываем осуществить в будущем.

Первично-магматическая субвулканическая природа тиманских К-трахитов и заметная контаминация их веществом вмещающих базальтов особых сомнений не вызывают. Очевидна и важна минералообразующая роль процессов автометасоматоза и выщелачивания. Но относительная роль всех этих факторов, вероятно, может быть уточнена лишь в дальнейшем. Трахиты на Среднем Тимане встречаются локально: на р. Ворыкве, где они прорывают базальтовые покровы, и в районе палеороссыпного месторождения алмазов Ичетью, где они инъецируют базальтовую жерловину, известную как трубка Сидоровская [15], и, наконец, на Цильменском Камне — без видимой связи с базальтами. Большой, около 100 млн лет, временной разрыв между излиянием

Окончание на стр. 21



Спектрометр "Vista MPX" (Varian).
Аналитик Т. Тарасова



ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ



Радиоспектрометр SE/X-2547 (Radiopan, Poland).
Оператор Е. Котова



Экспресс-анализатор на углерод АН-7529М.
Аналитик С. Забоева



Сканирующий электронный микроскоп JSM 6400.
Оператор В. Филиппов



Монокристалльный дифрактометр
"Bruker AXS".
Оператор Б. Макеев



Газовый хроматограф "Кристалл 2000 М".
Аналитик Д. Бушнев



Туннельный микроскоп "Умка"



Микроскоп люминесцентный серии "ЛЮМАМ"
Аналитик О. Процько



Аппарат Сокслета.
Аналитик Н. Приезжева



Порошковый дифрактометр (Shimadzu)



Лиофильная сушка СТ60е (Jouan).
Аналитик С. Шанина



Окончание. Начало на стр. 13.

ТИМАНИТ — УНИКАЛЬНАЯ ВЫСОКОТИТАНИСТАЯ УЛЬТРАКАЛИЕВАЯ РАЗНОВИДНОСТЬ ТРАХИТА: СРЕДНИЙ ТИМАН, ПОЗДНИЙ ПАЛЕОЗОЙ

франских базальтов (374—370 млн лет назад) и внедрением в них трахитов (288—270 млн лет назад) позволяет рассматривать те и другие в качестве самостоятельных разновозрастных и генетически не связанных платформенных магматических комплексов.

Температура сухого трахитового ультракалиевого расплава, судя по фазовой диаграмме тройной системы $Al_2O_3-K_2O-SiO_2$ при давлении в 1 атм, составляла около 1520 °С [23]. Чистый калишпат, как известно [20], плавится при атмосферном давлении инконгруэнтно при температуре 1150 ± 20 °С с образованием жидкости лейцитового состава (57.8 мас. %), обогащенной SiO_2 (42.2 мас. %). Инконгруэнтное плавление калишпата идет в интервале 1150—1700 °С (температура плавления лейцита 1686 °С). При давлении 9 кбар плавление калишпата становится конгруэнтным. В сухих условиях (без воды) он плавится при 1270 °С, в чистой воде — при 820 °С [20]. При содержании 6—21 мас. % воды в расплаве температура плавления калишпата понижается на 100—400 °С относительно сухого расплава. Для сравнения напомним, что предэруптивная температура более кислой дацитовой магмы, определенная по составу железотитановых оксидов в ядрах и каймах зерен акцессорного титаномагнетита с высоким содержанием ульвитового минала (от 17 до 23 мол. %), составляла от 780 до 900 ± 30 °С [28]. Примерно таким же или еще более высоким (до 1000—1100 °С), судя по геотермометру Баддингтона и данным экспериментального изучения системы $K_2O-Al_2O_3-SiO_2$, мог быть порядок температур кристаллизации тиманских трахитов. Присутствие микровключений акцессорного бадделеита в санидине также указывает на высокую начальную температуру исходного трахитового расплава и кристаллизацию бадделеита вместе с санидином-хозяином и иголочками рутила при температурах порядка 1000 °С. Бадделеит — идеальный минерал для определения U-Pb методом изотопного возраста широкого спектра горных пород: от кимберлитов и карбонатитов до габбро и базальтов, от тектитов и тагамитов до ме-

теоритов [4, 30, 27]. После обнаружения бадделеита в тиманских трахитах первоочередной для нас становится технически трудная задача по определению изотопного возраста его микронных включений. Главный итог наших исследований — доказательство существования неизвестного ранее и самого молодого на Тимане позднепалеозойского (!) вулканического платформенного комплекса, образованного субвулканическими или гипабиссальными телами высокотитанистых ультракалиевых трахитов возрастом около 280 млн лет.

На Урале в составе герцинских коллизионных комплексов, представленных в основном гранитами и сиенитами, трахиты не известны. Но в других частях герцинского Монголо-Охотского складчатого пояса они изредка все-таки встречаются. Так, например, на Тянь-Шане в мощной коллизионной зоне в составе триасового Чагатайского комплекса вместе с дайками и трубками карбонатно-силикатных алмазоносных пород присутствуют редкие маломощные (0.5—1.5 м) дайки трахитов [13]. Высокие температуры, свойственные мощным коллизионным зонам, способствовали здесь образованию горячих трахитовых и карбонатитоподобных выплавок в нижних частях утолщенной континентальной коры [13]. Мощные (до 300 м) и протяженные (до 1—1.5 км) силлообразные тела ультракалиевых трахидацитов и трахириолитов с изохронным U-Pb возрастом 235.4 млн лет выявлены в пределах Хангилайского рудного узла в Восточном Забайкалье [1, 2, 24]. Эти породы фиксируют завершающий этап коллизионных процессов в пределах герцинской Монголо-Охотской складчатой области. Геохимические особенности данных трахидацитов и трахириолитов подтверждают их существенно коровую природу. Близкие ультракалиевые аналоги тиманских трахитов присутствуют на Африканской платформе в миоценовых карбонатитовых вулканических комплексах Восточной Уганды. Здесь покровы и дайки ультракалиевых трахитов в основном предшествуют внедрению карбонатитов, но какая-то часть трахитовых даек внедряется все-таки после них [11]. Ультракалиевые муруниты входят в состав

дайковой фации, сопровождающей Мурунский массив мезозойских щелочных пород в западной части Алданского щита [12]. Изотопный возраст мурунитов, определенный K-Ar методом, составляет 114 млн лет. Петрографическое описание мурунитов свидетельствует о том, что это типичные ультракалиевые санидиновые трахиты, аналогичные по минеральному составу, текстуре и структуре тиманским и угандийским трахитам.

Обращает на себя внимание сходство тектонической позиции ультракалиевых трахитов Тимана, Алданского щита и Уганды. Они встречаются на древних платформах (Алдан и Уганда) или в эпибайкальских платформенных глыбах (Четласский Камень на Тимане). В фациальном отношении — это приповерхностные интрузии и экструзии. Несомненная петрографическая уникальность тиманских пород, выражающаяся в сочетании породообразующего калиевого санидина (около 95 об. %) и акцессорного лейкоксенизированного титаномагнетита с высоким содержанием TiO_2 , позволяет именовать их «тиманитами» — новой уникальной высокотитанистой разновидностью ультракалиевых трахитов, приближающейся по своему ультракалиевому химизму и субвулканическим условиям залегания к лейцитовым лавам: вайомингитам и орендитам. Последние, несмотря на высокое содержание лейцита, характеризуются практически насыщенными кремнеземом составами. Они пересыщены щелочами (перщелочные с дефицитом Al_2O_3). Для них, как и для тиманских трахитов, характерно сильно окисленное состояние пород: $Fe_2O_3 / (Fe_2O_3 + FeO) = 0.6 \div 0.8$. От уже известных представителей группы орендитов тиманиты отличаются более высоким содержанием калия, кремнезема и глинозема и соответственно более низким содержанием магния, железа и кальция. Такое различие находит отражение в их минеральном составе: в тиманитах отсутствуют темноцветные минералы, представленные в орендитах оливином, диопсидом и флогопитом, а также типичный для орендитов минерал — лейцит. Высокое содержание титана в тиманитах (1.8—2.6 мас. % TiO_2) реализует-



ся в акцессорном лейкоксенизированном титаномагнетите и в игольчатых включениях рутила. Еще более высокое содержание титана в орендитах (4—6 мас. % TiO₂) выражается в присутствии флогопита, титаномагнетита и калий-бариевого титаната — прайдерита, ошибочно принимавшегося ранее петрографами за игольчатый рутил.

Что вызвало разогрев и плавление коры под Четласским и Цилемским Камнями на Среднем Тимане в ранней перми с образованием трахитовых расплавов, пока остается загадкой. Складчато-глыбовая архитектура современного Тимана обычно связывается с киммерийско-альпийской активизацией древних байкальских структур, сопровождавшейся формированием его взбросо-надвиговой структуры. Сейчас становится очевидным, что ей на Тимане предшествовала позднегерцинская фаза растяжения. И это подтверждается изотопным возрастом (примерно 270—288 млн лет) четласских ультракалийевых трахитов. Наличие позднегерцинских магматических пород такого типа в рассматриваемом регионе дает нам право ожидать и сопутствующих им проявлений редкометалльной или иной минерализации, известных в связи с трахитами и метасоматическими ортоклазитами в других регионах мира. Ортоклазизация, как известно, нередко сопровождает месторождения железа, ванадия, меди, цинка и золота. И действительно, на юго-востоке Четласского Камня присутствуют слабо изученные щугорские полиметаллические проявления неясного генезиса и возраста. Да и сами тиманиты представляют пока что невостребованное декоративное и редкое по своим качествам высокомодульное («калиевый модуль» K₂O / Na₂O не менее 100) керамическое сырье, залегающее на поверхности и поблизости от действующего бокситового рудника и рудничного поселка Тиман.

Авторы благодарят В. Н. Пучкова, М. Б. Тарбаева, В. В. Лихачева, А. А. Соболеву, В. И. Степаненко, Е. В. Колониченко за конструктивное обсуждение проблемы, полезную дополнительную информацию о геологических особенностях трахитов Четласского и Цильменского Камней, и очень признательны Л. В. Махлаеву, И. И. Голубевой, Е. У. Ипатовой, Е. П. Калинину, Б. А. Макееву, В. И. Ракину, Д. Н. Ремизову и Ю. С.

Симаковой за консультации и методическую помощь.

Литература

1. Абушкевич В. С. Геохимия и петрология пород дайкового комплекса Хангилайского редкометалльного рудного узла в Восточном Забайкалье: Автореф. дис. . . канд. геол.-минер. наук. СПб., 2005. 20 с.
2. Абушкевич В. С., Сырицо Л. Ф. Вещественный состав и химизм пород дайкового комплекса в пределах редкометалльного Хангилайского рудного узла в Восточном Забайкалье // Происхождение магматических пород: Материалы Междунар. (X Всерос.) петрограф. совещ. Т. 2. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2005. С. 7—9.
3. Беляев В. В., Яцкевич Б. А., Швецова И. В. Девонские бокситы Тимана. Сыктывкар, 1997. 192 с.
4. Баянова Т. Б. Возраст реперных геологических комплексов Кольского региона и длительность процессов магматизма. СПб.: Наука, 2004. 174 с.
5. Годовиков А. А. Минералогия. М.: Недра, 1983. 647 с.
6. Заварицкий А. Н. Изверженные горные породы. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 480 с.
7. Иванов О. К. Вариации состава титаномагнетита по разрезу одного из пластов Копанской расслоенной интрузии, Ю. Урал // Уральский геологический журнал, 2004. № 3 (39). С. 69—80.
8. Иванов К. С., Федоров Ю. Н., Ронкин Ю. Л., Ерохин Ю. В. Геохронологические исследования Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна; итоги 50 лет изучения // Литосфера, 2005. № 3. С. 117—135.
9. Иванов О. К. Уточнение химической классификации ортомагматических горных пород // Метаморфизм, космические, экспериментальные и общие проблемы петрологии: Материалы Междунар. (X Всерос.) петрогр. совещ. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2005. С. 120—122.
10. Калинин Е. П., Пучков В. Н. Анализ сложно построенного гранито-гнейсового комплекса (Тынаготский район Приполярного Урала) // Докембрий и нижний палеозой Урала: Труды Ин-та геологии и геохимии УНЦ. 1978. Вып. 135. С. 72—83.
11. Кинг Б. К., Сатерленд Д. С. Карбонатитовые комплексы Восточной Уганды // Карбонатиты. М.: Мир, 1969. С. 87—141.
12. Лазебник К. А. Новая ультракалийевая щелочная порода — мурунит // ДАН СССР, 1979. Т. 248. № 5. С. 1197—1200.
13. Лапин А. В., Диваев Ф. К., Костицын Ю. А. Петрогеохимическая типизация карбонатитоподобных пород Чагатайского комплекса Тянь-Шаня в связи с проблемой алмазонасности // Петрология, 2005. Т. 13. № 5. С. 548—560.
14. Мальков Б. А. Герцинский бостонитовый комплекс Среднего Тимана // Геология европейского севера России. Сб. 4. Сыктывкар, 1999. С. 43—47.
15. Мальков Б. А., Холопова Е. Б. Трубки

взрыва и алмазонасности россыпи Среднего Тимана. Сыктывкар: Геопринт, 1995. 30 с.
- 16. Махлаев Л. В., Короткевич А. Ф. О триклинности калиевых полевых шпатов в гранитоидах различного генезиса. Красноярск: Красноярск. кн. изд-во, 1970. 62 с.
- 17. Минералы: Справочник. Т. II. Вып. 2. Простые окислы. М.: Наука, 1965. 342 с.
- 18. Минералы: Справочник. Т. II. Вып. 3. Сложные окислы. М.: Наука, 1967. 676 с.
- 19. Минералы: Справочник. Т. III. Вып. 1. Силикаты. М.: Наука, 1972. 884 с.
- 20. Минералы: Справочник. Т. V. Вып. 1. Каркасные силикаты. М.: Наука, 2003. 584 с.
- 21. Осипова Т. А., Калинин Г. А. Геологическое строение Челябинского гранитоидного плутона на Южном Урале (новые данные) // Происхождение магматических пород: Материалы Междунар. (X Всерос.) петрогр. совещ. Т. 2. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2005. С. 179—181.
- 22. Семенов Е. И. Ульвошпинель в титаномагнетитах Хибинского щелочного массива // Тр. Минералогического музея, 1959. Вып. 9. С. 190—195.
- 23. Справочник физических констант горных пород. М.: Мир, 1969. 544 с.
- 24. Сырицо Л. Ф., Абушкевич В. С., Левский Л. К. и др. Дайки и покровы высокоспециализированных ультракалийевых трахириодацитов в ареалах массивов Li-F гранитов и их роль в генерации магм редкометалльных гранитов // Эволюция петрогенеза и дифференциация вещества Земли: Материалы Междунар. (X Всерос.) петрогр. совещ. Т. 1. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2005. С. 233—237.
- 25. Ферштатер Г. Б., Беа Ф., Монтеро П. и др. Эволюция палеозойского интрузивного магматизма Среднего и Южного Урала // Литосфера, 2005. № 3. С. 57—72.
- 26. Щелочные породы / Под редакцией Х. Серенсена. М.: Мир, 1976. 400 с.
- 27. Heaman L. M., LeCheminant A. N. Paragenesis and U-Pb systematics of baddeleyite (ZrO₂) // Chemical Geology, 1993. V. 110. Pp. 95—126.
- 28. Holtz F., Sato H., Lewis J. et al. Experimental petrology of 1991—1995 Unzen Dacite, Japan. Part 1. Phase Relations, Phase Composition and Pre-eruptive Conditions // J. Petrology, 2005. V. 46. № 2. P. 319—337.
- 29. Patino Douce A. E. Vapor-Absent Melting of Tonalite at 15—32 kbar // J. Petrology, 2005. V. 46. № 2. P. 275—290.
- 30. Schärer U., Corfu F., Demaiffe D. U-Pb and Lu-Hf isotopes in baddeleyite and zircon megacrysts from the Mbuj-Mayi kimberlite: constraints on the subcontinental mantle // Chemical Geology, 1997. V. 143. Pp. 1—16.
- 31. White J. C., Ren M., Parker D. F. Variation in mineralogy, temperature and oxygen fugacity in a suite of strongly peralkaline lavas and tuffs, Pantelleria, Italy // The Canadian Mineralogist, 2005. Vol. 43. Part 4. Pp. 1331—1347.