ФОРМАЦИОННАЯ И ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ ГРАНИТОИДНЫХ МАССИВОВ ЮЖНОГО УРАЛА

FORMATION AND GEOCHEMICAL TYPIFICATION OF GRANITOID MASSIFS OF THE SOUTHERN URALS

В. И. Сначёв

Vladimir I. Snachev

Институт геологии
Уфимского федерального
исследовательского центра РАН,
г. Уфа, Российская Федерация

Institute of Geology, Ufa Federal
Research Centre of the Russian
Academy of Sciences,
Ufa, Russian Federation

Гранитоидные массивы Южного Урала входят в состав семи главных формаций (в порядке внедрения): мигматитовой (RF_3-V , $O?$), габбро-плагиогранитной ($O-S_1$), габбро-диорит-плагиогранитной (D_3-C_1), тоналит-гранодиоритовой (D_3-C_1), габбро-гранитной (C_1), монцодиорит-гранитной (C_{2-3} , P_1) и гранитной (P_1). Все они укладываются в шесть геохимических рядов: толеитовый, андезитовый, известково-щелочной, латитовый, плюмазитовый и агпаитовый.

В верхнем рифее-венде и ордовике (?) Восточно-Уральская и Ильменогорско-Сысертская структуры испытали одновременное двустороннее сжатие, что привело к образованию здесь цепочки мигматитовых куполов. На начальных стадиях деструкции земной коры (рифтогенная стадия) формировались гранитоиды габбро-плагиогранитной формации. Слагающие ее породы являются составными элементами офиолитовой дунит-гарцбургитовой ассоциации. С позднедевонско-раннекаменноугольным тектоническим циклом в пределах Восточно-Уральского прогиба связано становление тоналит-гранодиоритовой формации, образование которой происходило в активно-окраинноконтинентальной геодинамической обстановке. Синхронно с ней в Магнитогорской и Арамилско-Сухтелинской зонах проходило становление интрузий габбро-гранитной формации, для которых характерны смешанные геохимические признаки надсубдукционных и внутриплитных (рифтовых) пород. Монцодиорит-гранитная формация представлена преимущественно гранитоидами степнинского комплекса. На начальном этапе произошло внедрение основных и средних пород глубинного, мантийного генезиса, отвечающих по химизму ОИВ. На более позднем этапе кристаллизовались граниты и лейкограниты известково-щелочного ряда. Завершением длительного периода формирования земной коры Южного Урала явилось образование в перми коллизионных интрузий гранитной формации, что связано со скупиванием пород в условиях сжатия, ростом мощности земной коры и выплавлением в ее нижних частях гранитного расплава.

Granitoid massifs of the Southern Urals are part of seven main formations (in the order of intrusion): migmatite (RF_3-V , $O?$), Gabbro-plagiogranite ($O-S_1$), gabbro-diorite-plagiogranite (D_3-C_1), tonalite-granodiorite (D_3-C_1), gabbro-granite (C_1), monzodiorite-granite (C_{2-3} , P_1) and granite (P_1). All of them fit into six geochemical series: tholeiitic, andesite, calc-alkaline, latite, plumazite, and agpaite.

Ключевые слова

гранитоидные массивы;
Южный Урал; формация;
геохимический ряд; мигматиты;
геодинамика; интрузия

Keywords

granitoid massifs; Southern Urals;
formation; geochemical series;
migmatites; geodynamics; intrusion

In the Upper Riphean-Vendian and Ordovician (?), the East Ural and Ilmenogorsko-Sysert structures experienced simultaneous bilateral compression, which led to the formation of a chain of migmatite domes here. At the initial stages of crustal destruction (riftogenic stage), granitoids of the gabbro-plagiogranite formation were formed. Its constituent rocks are constituent elements of the ophiolite dunite-harzburgite association. The Late Devonian-Early Carboniferous tectonic cycle within the East Ural Trough is associated with the formation of a tonalite-granodiorite formation, the formation of which took place in an active-continental marginally geodynamic setting. Simultaneously with it, in the Magnitogorsk and Aramil-Sukhtelinsk zones, the formation of intrusions of the gabbro-granite formation took place, which are characterized by mixed geochemical signs of suprasubduction and intraplate (rift) rocks. Monzodiorite-granite formation is represented mainly by granitoids of the Stepninsky complex. At the initial stage, the intrusion of basic and intermediate rocks of deep mantle genesis occurred, corresponding to OIB chemistry. At a later stage, calc-alkaline granites and leucogranites crystallized. The end of a long period of the formation of the earth's crust in the Southern Urals was the formation of collisional intrusions of a granite formation in the Permian, which is associated with the accumulation of rocks under compression, an increase in the thickness of the earth's crust and melting of granite melt in its lower parts.

Введение

В пределах Южного Урала широко представлены различные по возрасту, размеру, формационной и фациальной принадлежности, геохимическим особенностям, металлогенической специализации гранитоидные массивы (рисунок 1). Наибольшим развитием они пользуются в Восточно-Уральской мегазоне, где на многие сотни километров в меридиональном направлении трассируется Главный гранитный пояс Урала. Заметно меньше гранитоидные массивы отмечены в Магнитогорской мегазоне. На западном склоне Южного Урала известны лишь единичные небольшие интрузии кислого состава: Бердяшский, Рябиновский, Кусинско-Копанский [1], Ахмеровский (Башкирский мегантиклинорий), Барангуловский, Мазаринский, Артлышский (зона Уралтау). На протяжении длительной истории изучения гранитоидов наибольший вклад внесли Г.А. Кейльман, М.С. Рапопорт, Г.Б. Ферштатер, Б.Н. Пермьяков, Г.И. Самаркин, Е.Я. Самаркина, А.А. Краснобаев, Б.К. Львов, Т.А. Осипова, Ю.Л. Ронкин, Д.С. Штейнберг и другие исследователи. Каждый из них в свое время в той или иной степени принял участие в работе по формационному расчленению гранитоидов, реконструкции геодинамических условий их формирования. Вместе с тем в последние десятилетия на территории Южного Урала были проведены геолого-съёмочные работы масштаба 1:200 000 под руководством Н.С. Кузнецова, Б.А. Пужакова, Е.П. Щулькина, В.П. Муркина (ОАО «Челябинск-

геосъёмка»), В.М. Мосейчука (ООО «Геопоиск»), А.В. Тевелева (геологический факультет МГУ), Ю.Г. Князева (ОАО «Башкиргеология»), в большинстве из которых принимал участие и автор данной статьи. В результате этих исследований были получены новые геологические данные по гранитоидам рассматриваемого региона, которые позволили уточнить ряд ранее устоявшихся положений и дополнить их типизацию.

Формационное расчленение гранитоидов Южного Урала

Из всех существующих в настоящее время классификаций фациального и формационного расчленения гранитоидов Южного Урала наиболее простой, обоснованной и удобной является вариант, предложенный Г.Б. Ферштатером [2] (таблица 1), на котором ниже остановимся.

В основу классификации положено разделение гранитоидов по типу магм на две группы: вулканическую, среди которой выделяются сухие (до 2 % воды), маловодные (2–5 %) и умеренно водные (5–8 %) магмы, и богатую водой (более 8 %) плутоническую. Установлено, что последняя не имеет эффузивных аналогов и формируется в условиях абиссальной фации глубинности (ниже 6–8 км). Более высокотемпературные, но менее насыщенные водой расплавы, как это следует из таблицы 1, способны достигать мезоабиссальной (от 3–4 до 6–8 км), гипабиссальной (от 0,5 до 3–4 км) фаций глубинности или изливаться на поверхность, образуя единую вулканоплутоническую ассоциацию пород.

Условные обозначения: 1 — существенно-осадочные породы; 2 — вулканогенно-осадочные и вулканогенные породы; 3 — серпентиниты; 4—8 — гранитоиды различных формационных типов: 4 — габбро-гранитного, 5 — тоналит-гранодиоритового, 6 — адамеллит-гранитного, 7 — монцодиорит-гранитного, 8 — гранитного; 9 — гранитоиды, формационная принадлежность которых неясна; 10 — номер гранитного массива.

Штриховой линией оконтурены структурно-фациальные зоны: I — Магнитогорская, II — Восточно-Уральское поднятие, III — Восточно-Уральский прогиб, IV — Зауральская. Сплошной жирной линией ограничены зоны развития водных плутонических гранитов гранитного формационного типа. Цифры в кружочках — гранитоидные массивы: 1 — Челябинский; 2 — Варламовский; 3 — Коелгинский; 4 — Пластовский; 5 — Санарский; 6 — Чесменский; 7 — Джабык-Карагайский; 8 — Неплюевский; 9 — Варшавский; 10 — Нижнесанарский; 11 — Степнинский; 12 — Вандышевский; 13 — Магнитогорский; 14 — Кассельский.

Рисунок 1. Схема размещения гранитоидных массивов разных формационных типов на Южном Урале [2]

Таблица 1. Схема формационного и фациального расчленения гранитоидов Урала

Тип ассоциаций	Магма		Формационный тип	Фация глубинности	Главные типы серий
	Состав	Водонасыщенность гранитной магмы			
Вулканическая	Базальтовая, андезито-базальтовая	Сухая	Габбро-гранитный	Гипабиссальная	Габбро-плагиогранитная Габбро-сиенитовая Габбро-гранитная
	Андезитовая, дацитовая	Маловодная	Тоналит-гранодиоритовый	Гип- и мезоабиссальная	Тоналит-гранодиорит-плагиоадамеллитовая тоналит-гранодиорит-гранитная
	Липарито-дацитовая	Маловодная Умеренноводная	Адамеллит-гранитный	Гип- и мезоабиссальная Мезоабиссальная	Гранодиорит-адамеллит-гранитная. Адамеллит-гранитная
Плутоническая	Гранитная	Водная	Гранитный	Мезоабиссальная и абиссальная	Адамеллит-гранитная. Гранитная

Главным критерием, по которому можно предполагать наличие в данной структурно-формационной зоне гранитоидов того или иного формационного типа, является зрелость ее коры, принадлежность заключительным этапам раннего, среднего либо позднего (возможны другие варианты) тектонического цикла. Гомодромность в развитии гранитоидного магматизма проявляется не только в пределах какого-то одного формационного типа, комплекса пород, просто отдельного массива. Она имеет и глобальную закономерность, указывающую на постепенное подкисление магмы в процессе эволюции гранитоидного магматизма складчатой области.

В вулканическую группу входят гранитоиды трех формационных типов: габбро-гранитного, тоналит-гранодиоритового и адамеллит-гранитного, в целом соответствующих сухой, маловодной и умеренно водной магмам. Интрузии габбро-гранитной формации практически всегда формируются в гипабиссальных условиях, остальные – в зависимости от параметров первичной магмы могут давать как гип- и мезоабиссальные, так и просто мезоабиссальные тела. Подавляющее большинство гранитоидов вулканической группы входят в состав вулканоплутонических комплексов, образуя единый ряд с излившимися породами.

Плутоническая группа гранитоидов включает только один формационный тип – гранитный и является основой батолитообразных тел Главного гранитного пояса Урала. Интерес к гранитному (гранитоидному?) формацион-

ному типу возрос в связи с отнесением части его пород к рифей-вендским, а возможно и к ордовикским образованиям [3–5]. Установлено, что внутреннее строение массивов не является однородным. Кроме верхнепалеозойских нормальных микроклиновых гранитов здесь устанавливаются более древние, предположительно верхнерифей-вендские (ордовикские?), порфировидные граниты, мигматиты, плагиомигматиты, образующие мигматитовую (гранит-мигматитовую) формацию. Все они фиксируют собой центральные части крупных купольных структур (Варламовской, Борисовской, Санарской, Еремкинской, Чашковской, Еланчиковской, Кисегачской, Ларинской) [3, 5], описанных в литературе как гранито-гнейсовые купола [6]. Подобные или близкие к ним образования известны на Южном Урале в Восточно-Уральском поднятии, Ильменогорско-Сысертском антиклинории.

Геохимические типы гранитоидов

Известно [7–10], что гранитоиды, наряду с вулканогенными и терригенными породами, являются индикатором геодинамических режимов формирования складчатой области. Основой для отнесения гранитоидов к той или иной геодинамической обстановке служат их геохимические особенности. Накопленный петрохимический и геохимический материал по гранитоидам различных стран мира позволил Л.П. Зоненшайну и др. [11], а вслед за ними Г.Б. Ферштатеру [2], выделить следующие шесть типов пород: толеитовый, андезитовый, известково-щелочной, латитовый,

плюмазитовый и агапитовый, каждый из которых соответствует определенному этапу развития региона (рисунок 1).

Гранитоиды **толеитового ряда** резко выделяются среди рассматриваемых типов пород, во-первых, явным преобладанием натрия над калием (таблица 2), что приводит к почти полному отсутствию среди породообразующих минералов калиевого полевого шпата, а, во-вторых, своей принадлежностью к офиолитовому комплексу или фронтальным частям островных дуг. В этой связи тесная их ассоциация с толеитовыми базальтами указывает на образование гранитоидов толеитового ряда в начальные стадии тектонических циклов, когда развитие, по мнению подавляющего большинства исследователей, идет в режиме растяжения.

Плагииграниты являются самой распространенной разновидностью пород этого ряда. Обычно это небольшие тела или жилы, тесно ассоциирующиеся с габбро офиолитовых комплексов [8]. Как это следует из таблицы 2, в них очень низкие содержания всех литофильных редких элементов группы железа (кобальта, никеля, хрома). На Урале подобные породы отнесены Г.Б. Ферштатером [2] к габбро-плагиигранитной серии и известны в Кемпирсайско-Хабарнинском районе, где они входят в состав офиолитового комплекса и вообще развиты исключительно в зоне заложения Магнитогорской мегазоны.

Гранитоиды **андезитового ряда**, подобно рассмотренным выше, характеризуются преобладанием натрия над калием и относятся к продуктам дифференциации магм известково-щелочного состава [7]. Предполагается их формирование не в составе островной дуги, а на континентальной окраине за тыловым бассейном. Петрохимические и геохимические особенности гранитоидов андезитового ряда существенно отличаются от таковых толеитового ряда (таблица 2). В частности, заметные отличия в сторону увеличения фиксируются по содержаниям литофильных редких элементов, элементам группы железа. Вместе с тем содержания некоторых из них все еще ниже кларка [12]. Металлогения этих гранитоидов довольно проста. С ними генетически либо парагенетически связаны золото-щелитовые, полиметаллические, скарновые проявления [7].

На Урале к андезитовому ряду относятся гранитоиды габбро-гранитной, тоналит-гранодиоритовой и, по всей вероятности, габбро-ди-

орит-плагиигранитной серий [2, 9]. Гранитоидный магматизм андезитового ряда проявился на Южном Урале на завершающих стадиях второго тектонического цикла формирования континентальной коры. Так, в пределах Восточно-Уральской мегазоны в позднедевонско-раннекаменноугольное время образовалась тоналит-гранодиоритовая формация. Предполагается [13], что в основном синхронно с тоналит-гранодиоритовой формацией в Магнитогорской мегазоне формировалась габбро-гранитная формация, возраст которой надежно датирован нижним карбоном. В отличие от гранитоидов тоналитового ряда, образующихся в режиме растяжения, становление последних происходило в режиме сжатия.

Гранитоиды **известково-щелочного ряда** в основном проявлены в геодинамических обстановках активных континентальных окраин андийского и невадийского типа, а также центральных частях структур калифорнийского типа [11]. В таблице 2 приведены средние значения содержаний петрогенных и редких элементов для перечисленных разновидностей гранитоидов. Хорошо видно, что в гранодиоритах редкие земли содержатся в пределах кларка [12], тогда как в гранитах литофильных редких элементов несколько больше, а бария и стронция — меньше кларка [7]. Заметно повышены в гранитоидах известково-щелочного ряда, относительно описанных выше, содержания рубидия. Отношение калия к натрию в них несколько больше единицы.

На Южном Урале к гранитоидам известково-щелочного ряда относятся, по-видимому, верхнепалеозойские нормальные микроклиновые граниты, слагающие часть (иногда незначительную) крупных массивов Главного гранитного пояса, основу которых занимают породы докембрийской (ордовикской?) гранит-мигматитовой формации [3, 4]. По мнению В.Н. Пучкова и др. [9] механизм формирования гранитов этого ряда довольно прост и связан с тектоническим скучиванием пластин, ростом «корней гор» и, как следствие, палингенезу в низах коры и выплавлению калиево-натровых гранитов. Рудная специализация гранодиоритов обусловлена золотом и молибденом, гранитов — тантало-ниобатами, оловом и вольфрамом.

Гранитоиды **латитового ряда** проявлены в тех же геодинамических обстановках, что и известково-щелочные. Это породы, в основном, средней основности, с повышенной ще-

Таблица 2. Содержание петрогенных (%) и редких элементов (г/т) в гранитоидах различных геохимических типов [7]

Геохимический тип	Фашии глубинности	Элементы, их отношения															
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Rb	Li	Ba	Sr	Zr	Hf	Nb	Ta
Плагиограниты толеитового ряда	Гипабиссальные	73,4	0,3	13,3	2,7	0,8	2,3	5,23	0,41	4,3	3,2	131	163	164	2,9	1,6	0,2
	Разные	62,6	0,6	16,1	5,9	2,6	4,2	3,95	2,16	67	18	910	475	137	3,0	3,0	0,7
Гранитоиды андезитового ряда	Мезоабиссальные	—	—	—	—	—	—	4,2	4,95	140	27	1550	650	410	—	22	1,4
	Гипабиссальные	—	—	—	—	—	—	4,55	4,25	125	21	1700	700	200	—	10	1,0
	Мезоабиссальные	67,8	0,4	15,4	3,2	1,3	2,7	3,75	3,9	147	50	1000	340	160	4,4	15	2,0
Гранитоиды известково-щелочного ряда	Гипабиссальные	73,1	0,3	13,7	2,2	0,4	1,1	3,7	4,36	232	40	420	145	—	—	—	—
	Гипабиссальные	73,9	0,2	13,3	1,9	0,2	0,7	3,72	4,37	380	140	195	75	130	6,0	34	6,4
Плюмазитовые редкометалльные лейкограниты	Гипабиссальные	73,0	0,3	11,6	3,6	0,3	0,6	4,95	4,58	200	80	85	20	1600	45	70	6,0
Апгитовые граниты	Гипабиссальные	73,0	0,3	11,6	3,6	0,3	0,6	4,95	4,58	200	80	85	20	1600	45	70	6,0

Продолжение таблицы 2

Геохимический тип	Элементы, их отношения														Геодинамические обстановки
	Pb	Zn	Mo	Cr	Ni	Co	V	Be	Sn	B	F	K/Rb	Rb/Sr	Ba/Sr	
Плагиограниты толеитового ряда	3,8	49	–	10	14	9	50	0,3	3,2	7,4	225	791	0,03	0,8	Островных дуг; офиолитовые пояса
Гранитоиды андезитового ряда	13	70	1,2	60	22	16	90	1,9	3,6	15	640	268	0,14	1,9	
Гранитоиды лагитового ряда	19	64	1,5	18	7	8	24	2,8	3,8	–	500	290	0,22	2,4	Обстановка калифорнийского типа; активные континентальные окраины андийского и невадийского типа
	23	70	1,7	14	7	3	45	2,2	5,0	23	600	280	0,18	2,4	
	25	57	1,4	28	12	9	55	3,2	4,7	20	850	220	0,43	2,9	
Гранитоиды известково-щелочного ряда	20	33	–	–	–	–	–	3,9	5,1	19	700	156	1,6	2,9	Континентальные рифтовые зоны; рифтовые структуры обстановок калифорнийского типа, тыловые зоны континентальных окраин
Плюмазитовые редкометальные лейкограниты	26	47	1,9	6	5	8	12	9,0	16	26	2100	95	5,1	2,6	
	35	190	1,9	15	6	6	6	6,8	10	8	1410	190	10,0	4,2	

лочностью (таблица 2) и неустойчивым составом [14]. От пород других рядов они отличаются обычно резкой порфировостью, высокой щелочностью, повышенным содержанием калия и преобладанием в биотите и роговой обманке магния над железом [8]. Геохимические особенности гранитоидов латитового ряда также позволяют надежно отделить их от известково-щелочных. В частности, содержания бария, циркония и стронция (таблица 2) различаются в них почти в два раза. Несколько другая и более важная у них металлогения: полиметаллы, золото, молибден, минерализация олово-сульфидного типа, редкие земли.

По-видимому, к латитовому ряду на Южном Урале принадлежат гранитоиды монцодиорит-гранитной формации пермского (Степнинский, Уйский, Вандышевский, Бирюковский массивы) возраста, приуроченные к континентальным дуговым линейам и представляющие собой образования постколлизийного растяжения [13].

К гранитоидам **плюмазитового ряда** относятся редкометальные лейкограниты (в основном аляскиты), формирующиеся в геодинамических обстановках континентальных рифтовых зон, рифтовых структур, обстановок калифорнийского типа, тыловых зон активных континентальных окраин, областей внутриплитового магматизма [11]. По петрохимическим параметрам они очень близки гипабиссальным гранитам известково-щелочного ряда (таблица 2). В то же время нет пород, подобных редкометальным лейкогранитам, по содержаниям редких элементов. В последних отмечены высокие значения фтора, литофильных редких элементов, таких как рубидий, литий, ниобий, тантал, олово, очень низкие – бария и стронция, а также элементов группы железа, что не позволяет спутать их с каким-нибудь другим геохимическим типом [8], Металлогеническое значение лейкогранитов обусловлено в первую очередь проявлениями различного вида редкометального сырья.

Гранитоиды **агпайтового ряда** объединяют породы повышенной щелочности. По петрохимическим характеристикам они практически неотличимы от редкометальных лейкогранитов плюмазитового ряда (таблица 2), но все же обладают специфическим геохимическим своеобразием. Так, моношпатовые аляскиты и щелочные граниты, составляющие основу рассматриваемых пород, содержат хотя

и высокие концентрации большинства литофильных редких элементов, но часто ниже, чем лейкограниты и значительно ниже последних — бария и стронция. К рибекит-арфведсоновым щелочным гранитам приурочена редкометальная (ниобий-цирконий-редкоземельная) минерализация. Тектоническая позиция образования гранитоидов агпайтового ряда подобна таковой для редкометальных плюмазитовых лейкогранитов.

Подводя итог разделению гранитоидов на несколько геохимических типов отметим, что каждый из них формируется в определенной геодинамической обстановке и обладает специфическим набором петрографических, петрохимических и геохимических особенностей. Вместе с тем, некоторые из них, такие, например, как содержание рубидия, величина отношения рубидия к стронцию, закономерно увеличиваются от плагиогранитов толеитового ряда к агпайтовым гранитам, что указывает на существование естественного природного ряда пород, начинающихся и завершающихся определенным этапом развития складчатой области [8], но каждый член этого ряда индивидуален.

Гранитоидный магматизм в истории развития Южного Урала

Анализ приведенного выше материала по формационному и геохимическому расчленению гранитоидов Южного Урала позволил предположить следующую историю их формирования (таблица 3).

В верхнем рифее-венде и ордовике (?) Восточно-Уральская и Ильменогорско-Сысертская структуры испытали одновременное двустороннее сжатие, резко усилился тепловой поток из верхней мантии, связанный, по всей видимости, с процессами активизации. Вдоль Восточно-Уральского поднятия формируется серия «горячих точек», которые давали высокотемпературные потоки трансмагматических флюидов, что в конечном счете привело к плавлению крупных масс пород и их диапироидному всплытию. Таким образом образовались антиклинорные структуры Кочкарской и Ильменогорско-Сысертской площадей, а также цепочка мигматитовых куполов (Варламовский, Борисовский, Санарский, Еремкинский, Чашковский, Еланчиковский, Кисегачский). Один из возможных вариантов объяснения механизма образования здесь гранито-гнейсовых куполов можно построить на основе гео-

Таблица 3. Формационные особенности и геодинамическая позиция гранитоидов Южного Урала

Формация	Комплекс	Возраст	Геохимический тип (ряд)	Геодинамическая позиция	Название массивов
Мигматитовая	андреевский борисовский	RF ₃ -V	известково-щелочной	микроконтинент, плечи рифта	Варламовский, Борисовский, Ларинский, Чашковский, Еланчиковский и др.
Габбро-плагиогранитная	осейский сарсангинский гулинский	O-S ₁ O-S ₁ S ₁	толеитовый	рифтогенные «офиолиты»	Осейский, Сухоядовский, Сарсангинский и др.
Габбро-гранитная	магнитогорский неплюевский канзафаровский	C ₁	андезитовый	активная континентальная окраина	Богдановский, Магнитогорский, Чекинский, Мосовский, Кассельский, Ключевский и др.
Габбро-диорит-плагиогранитная	михеевско-карамысовский зеленодольский	C ₁ D ₃ -C ₁	андезитовый	активная континентальная окраина	Зеленодольский, Михеевский, Новоиколаевский и др.
Тоналит-гранодиоритовая	пластовский	D ₃ -C ₁	андезитовый	активная континентальная окраина	Коелгинский, Пластовский, Кособродский, Чернореченский, Каменский, Центральный и др.
Монцодиорит-гранитная	степнинский солёногогорский летягинский	P ₁ C ₂₋₃ C ₂₋₃	латитовый	активная континентальная окраина	Степнинский, Вандышевский, Бирюковский, Уйский и др.
Гранитная (адамелит-гранитная)	санарский поварненский аятский	P ₁	известково-щелочной	коллизийные	Санарский, Челябинский, Джабыкский, Кременкульский и др.

динамической модели развития этих крупных структур. Подъем мантийного диапира в поздне-рифейско-вендское, а затем раннепалеозойское, время привел в конце ордовика к разрыву сплошности континентальной коры в пределах Магнитогорской мегазоны. В это же самое время другой мантийный диапир формируется в пределах Восточно-Уральского прогиба. Одновременное двустороннее сжатие, которое испытали Восточно-Уральское и Ильменогорско-Сысертское поднятия в поздне-рифейское-вендское и ордовикское время, могло явиться причиной проявления здесь крупной эпохи гранитизации пород. Имеющиеся данные позволяют говорить о коровом их происхождении в пределах мезоабиссальных (6,5–10 км) глубин и увязать процесс становления массивов с внутриплитовой геодинамической обстановкой.

Более молодые палеозойские формации гранитоидного магматизма образовались в строго определенных геодинамических обстановках. На начальных стадиях деструкции земной коры (рифтогенная стадия) формировались гранитоиды повышенной основности (гулинский плагиогранит-габбро-ультрабазитовый, сарсангинский, осейский и новониколаевский плагиогранит-габбро-долеритовый комплексы) (таблица 3). При этом породы, слагающие данные массивы, образовались в условиях растяжения на коре океанического типа. Некоторые из них по петрогеохимическим особенностям отвечают бонинитам основания островных дуг и являются составными элементами офиолитовой дунит-гарцбургитовой формации, что находится в соответствии с предположением В.Н. Пучкова [15] о существовании самостоятельной силурийской Трансуральской зоны субдукции на востоке Южного Урала.

С позднедевонско-раннекаменноугольным тектоническим циклом в пределах Восточно-Уральского прогиба связано становление тоналит-гранодиоритовой формации. Именно в этот период образовался пластовский комплекс (Коелгинский, Пластовский, Кособродский, Каменский, Центральный и другие массивы). Изучение геохимических особенностей гранитоидов тоналит-гранодиоритовой формации указывает на активно-окраинноконтинентальную геодинамическую обстановку их формирования.

Синхронно с тоналит-гранодиоритовым магматизмом в Магнитогорской и Арамилско-

Сухтелинской зонах проходило становление интрузий габбро-гранитной формации. Магнитогорская мегазона на момент формирования габбро-гранитной формации представляла собой хорошо сохранившийся фрагмент островной дуги, активно развивавшейся в девонское время [16]. Островная дуга находилась над зоной субдукции, падающей на восток под Восточно-Уральский микроконтинент. В позднем девоне произошла коллизия микроконтинента и островной дуги (мягкая коллизия). В первой половине раннекаменноугольного времени восточнее (в тылу островной дуги) образовалась рифтовая зона (Магнитогорско-Богдановский грабен). В ее пределах в раздвиговых зонах происходило формирование интрузий габбро-гранитной формации, для которых характерны смешанные геохимические признаки надсубдукционных и внутриплитных (рифтовых) образований.

Монцодиорит-гранитная формация в пределах Южного Урала представлена преимущественно гранитоидами степнинского комплекса (Уйский, Вандышевский, Бирюковский и Степнинский массивы), секущими субмеридиональные общепермские структуры (Магнитогорскую, Арамилско-Сухтелинскую, Восточно-Уральскую) с северо-запада на юго-восток [13]. Интрузии степнинского комплекса представляют собой внутриплитные образования, внедрённые в складчато-надвиговые структуры уралитид на завершающем этапе образования последних. При этом породы, слагающие изученные массивы, распадаются на две группы, отличающиеся по химизму и генезису [17]. По-видимому, на начальном этапе сформировались основные-средние породы глубинного, мантийного генезиса (монцогаббро, монцогаббро-диориты, сиениты), отвечающие по химизму OIB, которые можно считать производными индивидуального плюма. На более позднем этапе формировались граниты и лейкограниты известково-щелочного ряда.

Завершением длительного периода формирования земной коры Южного Урала явилось образование в перми коллизионных интрузий гранитной (адамеллит-гранитной) формации (санарский, аятский комплексы) и сопутствующего ей дайкового поварненского комплекса. Одним из наиболее вероятных механизмов, объясняющих появление интрузий гранитной формации в позднепалеозойское время, может

служить предварительное сжатие пород в условиях сжатия, что в свою очередь привело к росту мощности земной коры и выплавлению в ее нижних частях гранитного расплава [9].

Выводы

Расширенным вариантом «Выводов» можно считать раздел «Гранитоидный магматизм в истории развития Южного Урала». Наиболее значимые из них сводятся к следующим основным положениям:

1. Гранитоидные массивы Южного Урала подразделяются на семь главных формаций (в порядке внедрения): мигматитовая, габбро-плагиогранитная, габбро-гранитная, габбро-диорит-плагиогранитная, тоналит-гранодиоритовая, монцодиорит-гранитная и гранитная.

2. Все они укладываются в шесть геохимических рядов: толеитовый, андезитовый, известково-щелочной, латитовый, плюмазитовый и агпайтовый, каждый из которых соответствует определенному этапу развития региона.

3. В течение всей истории формирования Южного Урала гранитоидный магматизм проявлялся в строго определенных геодинамических обстановках: платформенной активизации, континентально-рифтогенной, активной континентальной окраины, островодужной, коллизионной.

Работа выполнена в рамках Государственного заказа по теме № 246-2019-0078.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ковалев С.Г., Сначёв В.И., Романовская М.А. Новые геолого-петрогенетические аспекты формирования Кусинско-Копанского комплекса // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 1995. № 4. С. 81–85.
2. Ферштатер Г.Б. Петрология главных интрузивных ассоциаций. М.: Наука, 1987. 232 с.
3. Сначёв В.И., Муркин В.П. Новые данные по магматизму, метаморфизму и металлогении Кочкарской площади Южного Урала: Препринт. Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1989. 23 с.
4. Сначёв В.И., Муркин В.П., Кошуг Д.И., Романовская М.А. Новые данные о гранитоидах Восточно-Уральского поднятия (Южный Урал) // Доклады АН СССР. 1990. Т. 310. № 1. С. 171–173.
5. Пермяков Б.Н. Чашковско-Еланчиковский мигматит-гнейсогранитный массив (Южный Урал). Миасс: ИГЗ УрО РАН, 2000. 187 с.
6. Кейльман Г.А. Гранитизация и тектоника. Свердловск: Изд-во СГИ, 1988. 36 с.
7. Таусон Л.В. Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. М.: Наука, 1977. 280 с.
8. Кузьмин М.И. Геохимия магматических пород фанерозойских подвижных поясов. Новосибирск: Наука, 1985. 199 с.
9. Пучков В.Н., Рапопорт М.С., Ферштатер Г.Б., Ананьева Е.М. Тектонический контроль палеозойского гранитоидного магматизма на Восточном склоне Урала // Исследования по петрологии и металлогении Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. С. 85–94.
10. Абрамович И.И. Геодинамические реконструкции. Л.: Недра, 1989. 277 с.
11. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Моралев В.М. Глобальная тектоника, магматизм и металлогения. М.: Недра, 1976. 231 с.
12. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
13. Ферштатер Г.Б. Палеозойский интрузивный магматизм Среднего и Южного Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. 368 с.
14. Кузнецов Ю.А. Главные типы магматических формаций. М.: Недра, 1964. 387 с.
15. Puchkov V.N. General Regularities of Localization of Mineral Deposits in the Urals: What, Where, When and Why // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 85. P. 4–29. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.01.005.
16. Пучков В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 2000. 145 с.
17. Сначёв А.В., Пучков В.Н., Сначёв В.И. Новые данные по условиям кристаллизации монцодиорит-гранитных массивов восточного склона Южного Урала // Доклады АН. 2018. Т. 481. № 5. С. 544–547. DOI: 10.31857/S086956520002122-7.

REFERENCES

1. Kovalev S.G., Snachev V.I., Romanovskaya M.A. Novye geologo-petrogeneticheskie aspekty formirovaniya Kusinsko-Kopanskogo kompleksa [New Geological and

Petrogenetic Aspects of the Formation of the Kusinsko-Kopan Complex]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4: Geologiya — Moscow University Geology Bulletin*, 1995, No. 4, pp. 81–85. [in Russian].

2. Fershtater G.B. *Petrologiya glavnykh intruzivnykh assotsiatsii* [Petrology of Major Intrusive Associations]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 232 p. [in Russian].

3. Snachev V.I., Murkin V.P. *Novye dannye po magmatizmu, metamorfizmu i metallogenii Kochkarskoi ploschadi Yuzhnogo Urala: Preprint* [New Data on Magmatism, Metamorphism and Metallogeny of the Kochkar Area of the South Urals: Preprint]. Ufa, BNTs UrO AN SSSR Publ., 1989. 23 p. [in Russian].

4. Snachev V.I., Murkin V.P., Koshchug D.I., Romanovskaya M.A. *Novye dannye o granitoidakh Vostochno-Ural'skogo podnyatiya (Yuzhnyi Ural)* [New Data on Granitoids of the East Ural Uplift (South Ural)]. *Doklady AN SSSR — Soviet Physics. Doklady*, 1990, Vol. 310, No. 1, pp. 171–173. [in Russian].

5. Permyakov B.N. *Chashkovsko-Elanchikovskii migmatit-gneisogranitnyi massiv (Yuzhnyi Ural)* [Chashkovsko-Elanchikovskiy Migmatite-Gneiss-Granite Massif (South Urals)]. Miass, IGZ UrO RAN Publ., 2000. 187 p. [in Russian].

6. Keilman G.A. *Granitizatsiya i tektonika* [Granitization and Tectonics]. Sverdlovsk, SGI Publ., 1988. 36 p. [in Russian].

7. Tauson L.V. *Geokhimicheskie tipy i potentsial'naya rudonosnost' granitoidov* [Geochemical Types and Potential Ore Content of Granitoids]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 280 p. [in Russian].

8. Kuzmin M.I. *Geokhimiya magmaticheskikh porod fanerozoiskikh podvizhnykh poyasov* [Geochemistry of Igneous Rocks of Phanerozoic Mobile Belts]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1985. 199 p. [in Russian].

9. Puchkov V.N., Rapoport M.S., Fershtater G.B., Ananeva E.M. *Tektonicheskii kontrol' paleozoiskogo granitoidnogo magmatizma na Vostochnom sklone Urala* [Tectonic control of Paleozoic Granitoid Magmatism on the Eastern Slope of the Urals]. *Issledovaniya po petrologii i metallogenii Urala* [Research on Petrology and Metallogeny of the Urals]. Sverdlovsk, UNTs AN SSSR Publ., 1986, pp. 85–94. [in Russian].

10. Abramovich I.I. *Geodinamicheskie rekonstruktsii* [Geodynamic Reconstruction]. Leningrad, Nedra Publ., 1989. 277 p. [in Russian].

11. Zonenshain L.P., Kuzmin M.I., Moralev V.M. *Global'naya tektonika, magmatizm i metallogeniya* [Global Tectonics, Magmatism and Metallogeny]. Moscow, Nedra Publ., 1976. 231 p. [in Russian].

12. Vinogradov A.P. *Srednee soderzhanie khimicheskikh elementov v glavnykh tipakh izverzhennykh porod* [Average Content of Chemical Elements in the Main Types of Igneous Rocks]. *Geokhimiya — Geochemistry International*, 1962, No. 7, pp. 555–571. [in Russian].

13. Fershtater G.B. *Paleozoiskii intruzivnyi magmatizm Srednego i Yuzhnogo Urala* [Paleozoic Intrusive Magmatism of the Middle and Southern Urals]. Yekaterinburg, RIO UrO RAN Publ., 2013. 368 p. [in Russian].

14. Kuznetsov Yu.A. *Glavnye tipy magmaticheskikh formatsii* [Main Types of Igneous Formations]. Moscow, Nedra Publ., 1964. 387 p. [in Russian].

15. Puchkov V.N. General Regularities of Localization of Mineral Deposits in the Urals: What, Where, When and Why. *Ore Geology Reviews*, 2017, Vol. 85, pp. 4–29. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.01.005.

16. Puchkov V.N. *Paleogeodinamika Yuzhnogo i Srednego Urala* [Paleogeodynamics of the Southern and Middle Urals]. Ufa, Dauriya Publ., 2000. 145 p. [in Russian].

17. Snachev A.V., Puchkov V.N., Snachev V.I. Novye dannye po usloviyam kristallizatsii montsodiorit-granitnykh massivov vostochnogo sklona Yuzhnogo Urala [Physicochemical Conditions of Metamorphism of Rocks of the Ilyinovskii Complex (Trans-Uralian Uplift): First Data]. *Doklady AN — Doklady Akademii Nauk*, 2018, Vol. 481, No. 5, pp. 544–547. DOI: 10.31857/S086956520002122-7. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

ABOUT THE AUTHOR

Сначёв Владимир Иванович, д-р геол.-минерал. наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа, Российская Федерация

Vladimir I. Snachev, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Chief Researcher, Institute of Geology, UFRS RAS, Ufa, Russian Federation

e-mail: SAVant@inbox.ru