

## ГЕОЛОГИЯ, ПЕТРОГЕОХИМИЯ И ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ АЛЕКСАНДРОВСКОЙ ТОЛЩИ КОЧКАРСКОГО АНТИКЛИНОРИЯ (ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОЕ ПОДНЯТИЕ)

### GEOLOGY, PETROGEOCHEMISTRY, AND PALEOGEODYNAMIC CONDITIONS OF FORMATION OF THE ALEKSANDROVSK FORMATION OF THE KOCHKAR ANTICLINORIUM (EAST URAL UPLIFT)

**В.И. Сначёв**

**Vladimir I. Snachev**

Институт геологии Уфимского  
федерального исследовательского  
центра Российской академии наук,  
г. Уфа, Российская Федерация

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

Александровская толща (Val) развита в западной части Кочкарского антиклинория (Восточно-Уральское поднятие). Она слагает Александровскую зону смятия, представляющую собой сложнопостроенный пакет тектонических пластин с моноклиальным западным падением. Отложения толщи представлены метаморфизованными в условиях зеленосланцевой фации и метасоматически проработанными вулканогенными, вулканогенно-осадочными и осадочными породами. Это биотитовые, двуслюдяные, хлорит-актинолитовые и слюдисто-углеродистые сланцы, тонко переслаивающиеся между собой. Доля последних вверх по разрезу увеличивается. Первичный состав осадочных пород александровской толщи соответствует нормальным осадкам: грауваккам, гидрослюдистым глинам, полимиктам, аркозам и монтморилонитовым глинам. Подавляющее большинство проб метавулканитов укладывается в поле базальтов. Они относятся к контрастной риолит-базальтовой формации, завершающей вендский тектономагматический цикл. Отличительной особенностью графитистых кварцитов является сильная обогащенность фосфором (до 1,97 %  $P_2O_5$ ). В метавулканитах выделяется два типа пород: с нормальной и повышенной щелочностью. Метабазальты по целому ряду элементов похожи на основные эффузивы континентальных рифтов, а метавулканокластиты — на оливиновые толеиты Байкальского рифта. На диаграммах  $SiO_2 - (Na_2O+K_2O)$ ,  $SiO_2 - (FeO+Fe_2O_3)/MgO$  75 % вулканогенных пород попадают в субщелочное поле, а остальные 25 % — в известково-щелочное. На двух других —  $TiO_2 - Al_2O_3/(FeO+Fe_2O_3+MgO)$  и  $TiO_2 - (Na_2O+K_2O)$  — метадолериты укладываются в поле эпиплатформенных континентальных рифтов, а метавулканиты ложатся в область островных дуг. Образование их происходило в обстановке сжатия. С учетом всего комплекса данных (геологических, петрохимических и геохимических) можно предположить, что породы александровской толщи образовались в обстановке континентального рифтогенеза.

#### Ключевые слова

александровская толща;  
Кочкарский антиклинорий;  
петрогеохимия;  
палеогеодинамика;  
метавулканиты; черные сланцы;  
венд; континентальный рифт

The Aleksandrovsk Formation (Val) is developed in the western part of the Kochkar anticlinorium (East Ural uplift). It composes the Aleksandrovsk zone of crushing, which is a complex package of tectonic plates with a monoclinial western dip. The sediments of the stratum are represented by metamorphosed under the conditions of the greenschist facies and metasomatically worked out volcanic, volcanic-sedimentary and sedimentary rocks. These are biotite, two-mica, chlorite-actinolite and mica-carbonaceous shales, thinly interbedded with each other. The share of the latter increases up the section. The primary composition of sedimentary rocks of the Aleksandrovsk sequence corresponds to normal sediments: graywackes, hydromica clays, polymicts, arkoses, and montmorillonite clays. The overwhelming majority of metavolcanic samples fall within the basalt field. They belong to the contrasting rhyolite-basalt formation completing the Vendian tectonomagmatic cycle. A distinctive feature of graphitic quartzites is a strong phosphorus enrichment (up to 1.97 %  $P_2O_5$ ). In metavolcanics, two types of rocks are distinguished: with normal and high alkalinity. In terms of a number of elements, metabasalts are similar to the main effusive rocks of continental rifts, and metavolcanoclastites are similar to olivine tholeiites of the Baikal rift. On the diagrams  $SiO_2 - (Na_2O+K_2O)$ ,  $SiO_2 - (FeO+Fe_2O_3)/MgO$  75 % of volcanic rocks fall into a subalkaline field, and the remaining 25 % — into a calc-alkaline field. On the other two —  $TiO_2 - Al_2O_3/(FeO+Fe_2O_3+MgO)$  and  $TiO_2 - (Na_2O+K_2O)$  — metadolerites are deposited in the field of epiplatform continental rifts, and metavolcanics lie in the area of island arcs. Their formation took place in a condition of compression. Taking into account the entire set of data (geological, petrochemical, and geochemical), it can be assumed that the rocks of the Aleksandrovsk sequence were formed in the setting of continental rifting.

### Введение

В переходный период от докембрия к палеозою в пределах Южного Урала происходили глубокие структурные изменения. В это время Башкирское, Восточно-Уральское и Зауральское поднятия представляли собой единую структуру внутрикратонного авлакогенного типа, в которой накапливались преимущественно терригенные рифтогенные комплексы. К концу рифея резко усилился тепловой поток из верхней мантии, связанный, по-видимому, с процессами активизации. Вдоль Восточно-Уральского поднятия формируется серия «горячих точек», которые генерировали высокотемпературные потоки трансмагматических флюидов, что привело к плавлению больших масс пород и их диапироидному всплытию. Таким образом образовался Кочкарский антиклинорий с цепочкой мигматитовых куполов (Варламовским, Еремкинским, Санарским, Борисовским). Этап гранитной мигматизации завершился где-то близко к границе верхнего рифея и венда. В дальнейшем гранито-гнейсовые купола испытывали активное разрушение. Так, вендские и ордовикские образования александровской и кукушкинской толщ оказались сложенными преимущественно полимиктовыми и олигомиктовыми песчаниками, гравелитами и алевролитами. Кроме

### Keywords

Aleksandrovsk Formation;  
Kochkar anticlinorium;  
petrogeochemistry;  
paleogeodynamics;  
metavolcanics; black shales;  
Vendian; continental rift

того, в первой из них отмечены довольно мощные прослои субщелочных вулканогенных пород, реконструкции палеогеодинамических условий образования которых и посвящена данная работа.

### Геологическое строение александровской толщи

Александровская толща (Val) развита в западной части Кочкарского антиклинория (Восточно-Уральское поднятие), слагая Александровскую зону смятия, представляющую собой сложнопостроенный пакет тектонических пластин с моноклиальным западным падением [1] (рисунок 1), границы между которыми трассируются гипербазитами с бедной вкрапленностью хромитов [2].

Отложения толщи представлены метаморфизованными в условиях зеленосланцевой фации и метасоматически проработанными вулканогенными, вулканогенно-осадочными и осадочными породами. Это биотитовые, двуслюдяные, хлорит-актинолитовые и слюдистоуглеродистые сланцы, тонко переслаивающиеся между собой. Следует отметить, что доля последних вверх по разрезу увеличивается, в нижних частях толщи известны карбонатосодержащие сланцы и мрамора. Не исключено, что мрамора могут принадлежать верхам светлинской толщи. Тем более, что нижний контакт



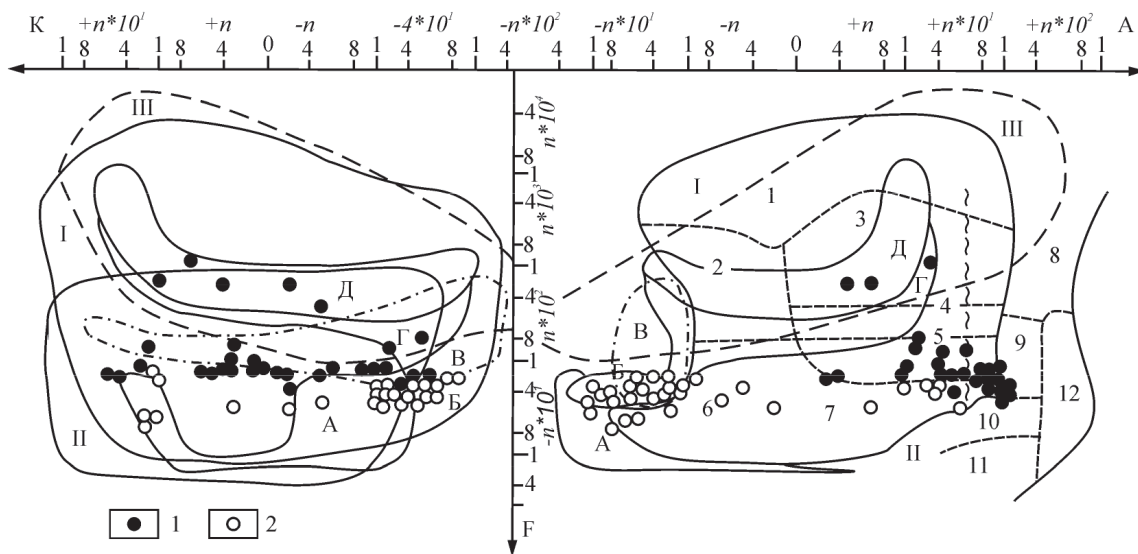
александровской толщи явно тектонический, на что указывает к тому же и резкое структурное несогласие с нижележащими толщами. Верхний ее контакт не известен.

Результаты реконструкции первичного состава осадочных пород александровской толщи с помощью диаграмм А.А. Предовского [3] показывают параметры, соответствующие нормальным осадкам: грауваккам, гидрослюдистым глинам, полимиктам, аркозам, смешанным продуктам выветривания основных и ультраосновных пород и монтмориллонитовым глинам (рисунок 2). Подавляющее большинство проб метавулканитов укладывается в поле базальтов.

Черносланцевые породы рассматриваемого стратиграфического подразделения потенциально перспективны на благородные металлы [4] и относятся к низкоуглеродистому и углеродистому типам (2,5–6,7 %  $C_{орг}$ ), а также карбонатно-углеродистой (верхи разреза) и кремнисто-углеродистой (низы разреза) формациям [5]. Последняя из них накапливалась в некомпенсированном, сравнительно глубоководном морском бассейне при дефиците кислорода, а вторая — в мелководных условиях и содержит довольно большое количество терригенной примеси в осадках.

Вулканогенные образования приурочены к средней части толщи. Следует подчеркнуть, что помимо зеленосланцевого метаморфизма, метавулканиты в тектонически ослабленных зонах подверглись воздействию щелочного метасоматоза, часто интенсивно карбонатизированы, и, следовательно, реконструкция первичной природы и их состава вызывает определенные трудности. Вместе с тем, полученные материалы по петрографии и петрохимии позволяют сделать некоторые предварительные выводы о вещественном составе метавулканитов и выделить среди них образования эффузивной фации (метабазальты, метариолиты), субвулканической и дайковой фации (метадолериты, мета-габбро-долериты), а также разнообразные метавулканокластические породы [1].

Метабазальты развиты главным образом в нижней части вулканогенной пачки. Они характеризуются массивной, миндалекаменной, либо сланцеватой текстурой и реликтовой порфировой структурой. Первичные минералы в метабазальтах не сохранились. Основная масса пород обладает реликтовыми интерсергальными и микролитовыми структурами и сложена плагиоклазом, биотитом, хлоритом, актинолитом, эпидотом, кварцем и кальцитом. Плагиоклаз фенокристаллов земе-



Условные обозначения: 1 — сланцы биотитовые, серицит-хлорит-биотитовые, карбонат-биотитовые; 2 — сланцы хлорит-актинолитовые, актинолитовые, метавулканиты. Название полей: А — ультрабазальты, Б — базальты, В — сиениты, щелочные сиениты и их эффузивные аналоги, Г — диориты, плагиограниты и их эффузивные аналоги, Д — граниты и их эффузивные аналоги. Исходный состав осадочных пород: 1 — кварциты, 2 — туффиты с кислым и средним материалом, 3 — полевошпатовые серицитовые кварциты и аркозы, 4 — полимикты, 5 — граувакки, 6 — туффиты с основным и ультраосновным материалом, 7 — смешанные продукты глубокого выветривания основных и ультраосновных пород, 8 — каолиновые глины, 9 — гидрослюдистые глины, 10 — монтмориллонитовые глины, 11 — вермикулитовые глины, 12 — бокситовые глины

Рисунок 2. Составы пород александровской толщи на диаграмме А.А. Предовского [3]

щен чаще всего альбит-олигоклазовым агрегатом и соссюритом, по пироксену развит актинолит. Миндалины большей частью выполнены плагиоклазом, кварцем и карбонатом. Химические составы метабазальтов александровской толщи, приведенные в таблице 1,

позволяют выделить среди них субщелочные и нормальные разности пород.

Метавулканокластиты александровской толщи представлены различными обломочными породами базальтового состава неясного генезиса. Среди них преобладают грубо-

**Таблица 1.** Химический состав вулканогенных пород александровской толщи

№	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	п.п.п	Σ
1	47,70	0,80	17,51	1,63	7,30	7,80	7,01	0,27	2,92	2,88	0,16	3,08	99,06
2	46,30	0,50	9,12	1,79	9,82	8,21	16,99	0,24	0,35	2,50	0,23	3,04	99,12
3	46,44	0,79	15,57	1,60	8,29	9,68	7,72	0,19	2,88	2,43	0,07	3,72	99,35
4	52,76	0,47	14,06	1,62	6,24	11,51	9,60	0,13	3,00	0,08	0,18	1,00	100,7
5	49,68	1,67	15,93	3,09	9,05	5,97	4,76	0,19	5,18	1,41	0,157	3,82	100,9
6	52,28	1,50	16,27	2,66	8,95	6,25	4,00	0,20	3,29	1,87	0,126	2,35	99,75
7	45,31	1,10	18,71	2,10	8,45	7,80	9,21	0,16	2,93	0,40	0,102	3,08	99,36
8	46,56	0,45	12,36	2,05	7,68	7,41	16,10	0,18	1,65	3,44	0,200	2,20	100,0
9	48,10	0,52	12,45	1,76	8,27	8,19	14,18	0,16	1,72	2,76	0,201	1,56	101,0
10	46,42	0,50	13,51	1,29	8,59	11,51	13,49	0,17	1,10	1,50	0,205	1,44	99,81
11	44,32	0,52	14,82	1,48	9,01	8,19	14,47	0,17	1,06	3,86	0,212	2,14	100,3
12	49,36	0,74	17,05	1,96	8,48	5,08	8,00	0,16	4,22	2,50	0,216	1,68	99,47
13	45,88	0,71	17,20	1,99	9,82	5,93	10,67	0,21	3,32	0,30	0,200	3,04	99,28
14	49,72	0,84	17,06	1,35	8,29	5,24	6,32	0,17	5,05	2,88	0,266	1,66	98,81
15	45,54	0,81	15,05	1,30	8,87	12,42	7,20	0,19	3,10	0,96	0,215	3,60	99,25
16	51,14	0,52	19,56	1,70	6,84	7,06	5,38	0,15	5,54	0,30	0,135	1,40	99,72
17	50,80	0,64	13,00	2,19	8,48	11,08	8,69	0,18	3,36	0,22	0,197	1,56	100,5
18	49,88	0,65	10,79	1,17	8,66	11,37	12,20	0,18	1,80	1,22	0,156	1,48	99,65
19	47,90	0,61	14,51	0,62	8,67	7,22	11,80	0,19	3,02	1,10	0,151	3,00	98,83
20	53,87	0,39	15,60	2,99	5,37	8,24	6,47	0,13	4,63	0,15	0,060	1,82	99,72
21	49,34	0,57	13,60	0,80	7,98	9,53	10,90	0,19	3,45	0,39	0,187	2,40	99,40
22	47,00	2,14	15,51	3,38	8,07	7,63	7,80	0,19	2,90	2,35	0,302	3,72	101,0
23	45,42	1,72	17,19	0,99	8,94	6,79	10,30	0,31	2,73	0,58	0,366	3,52	98,86
24	46,82	1,08	14,82	2,04	6,82	7,23	13,62	0,14	2,03	1,53	0,172	3,48	99,78
25	46,61	2,70	13,95	2,76	8,69	10,11	5,64	0,16	4,33	0,28	0,515	4,20	99,95
26	51,48	1,04	17,36	1,22	7,29	6,50	7,20	0,14	4,92	0,80	0,175	1,26	99,41
27	47,44	0,96	16,40	2,01	9,40	8,91	8,56	0,15	3,20	0,79	0,142	1,00	98,98
28	47,33	3,48	12,41	2,70	13,5	8,49	5,47	0,26	3,73	0,25	0,225	1,20	99,05
29	74,17	0,27	12,85	1,28	1,59	2,01	1,20	0,06	4,75	0,75	0,040	1,40	100,4
30	71,24	0,40	14,67	0,71	2,64	0,94	2,15	0,04	5,30	0,60	0,096	1,60	100,4
31	72,40	0,30	13,71	0,82	2,38	1,30	2,10	0,05	5,10	1,00	0,064	1,64	100,9
32	73,90	0,30	12,68	1,02	2,04	0,86	2,30	0,03	3,10	1,75	0,064	2,68	100,7
33	73,44	0,24	12,85	0,96	2,20	0,80	2,50	0,03	5,00	1,00	0,041	1,90	101,0
34	72,08	0,25	13,48	0,32	2,93	0,79	3,50	0,04	3,55	1,25	0,050	2,46	100,7
35	72,84	0,20	10,04	0,55	2,05	0,86	3,50	0,03	4,20	0,75	0,032	1,86	100,9
36	72,34	0,28	12,70	0,90	2,40	1,30	3,15	0,05	5,65	0,60	0,057	1,58	101,0
37	71,04	0,34	13,82	0,99	3,11	0,97	2,71	0,07	3,15	1,52	0,100	2,16	99,98
38	62,04	0,44	16,32	1,70	3,56	0,50	7,10	0,07	2,05	2,85	0,105	4,06	100,8
39	57,50	0,72	19,38	1,68	6,57	0,83	4,36	0,14	0,54	3,48	0,229	3,88	99,31
40	57,20	0,74	20,33	1,48	7,08	1,39	3,78	0,12	1,25	3,00	0,229	3,26	99,86
41	65,86	0,28	14,50	5,26	1,42	1,74	1,78	0,06	2,20	1,84	0,060	5,12	100,1
42	65,02	0,31	15,51	4,48	1,55	1,67	1,87	0,07	4,12	1,56	0,103	4,02	100,3

Примечание: 1–7 — метавулканыты без фацеального расчленения; 8–16 — метавулканокластиты; 17–22 — метабазальты; 23–28 — метадолериты; 29–42 — метариолиты.

Анализы принадлежат ОАО «Челябинскгеосъемка» и автору

обломочные разности. Необходимо отметить, что здесь наблюдается близость химического состава метавулканокластитов с составом метабазальтов (таблица 1). Вторичные изменения метабазальтов и метавулканокластитов (кроме зеленокаменных) присутствуют довольно широко и проявляются, преимущественно, в биотитизации пород.

Метариолиты сконцентрированы главным образом в средней части вулканогенной пачки. Эти породы характеризуются массивной или сланцеватой текстурами и порфировой структурой. Порфиновые выделения представлены таблитчатыми вкрапленниками кислого плагиоклаза и кварца. Основная масса обладает микролитовой и гранобластовой структурой и сложена полевым шпатом, кварцем, хлоритом, биотитом, серицитом, иногда кальцитом. В зонах рассланцевания увеличивается количество серицита и хлорита. Породы здесь приобретают облик сланцев. Особенности химического состава метариолитов приведены в таблице 1. В целом кислые вулканиды характеризуются, при среднем риолитовом составе, повышенным содержанием магния и натровой специализацией щелочей.

В субвулканической и дайковой фациях в метавулканидах александровской толщи отмечены метадолериты и метагаббро-долериты, слагающие пластовые и жильные тела среди метабазальтов и вулканокластитов. Они характеризуются массивной текстурой, зернистой структурой с реликтами габбро-долеритовой и долеритовой. Породы обычно интенсивно изменены (амфиболизированы, хлоритизированы, биотитизированы) и сложены плагиоклазом, обыкновенной роговой обманкой, актинолитом, хлоритом, биотитом, эпидотом. Акцессорные минералы представлены сфеном, ильменитом и магнетитом. Химические анализы метадолеритов и метагаббро-долеритов приведены в таблице 1. Обращает на себя внимание несколько повышенное по сравнению с составом метабазальтов и вулканокластитов содержание титана. В целом же по особенностям химизма метадолериты и метагаббро-долериты обнаруживают большое сходство с метабазальтами, что подчеркивает их комагматичность.

Таким образом, анализ имеющегося минералого-петрографического и петрохимического материала по метавулканидам александровской толщи позволяет отнести их к контрастной риолит-базальтовой формации,

завершающей, по-видимому, вендский тектономагматический цикл.

Отличительной особенностью александровской толщи является сильная обогащенность графитистых кварцитов фосфором. Содержание  $P_2O_5$  достигает в них 1,97 %. Известно [6], что аномальная фосфатоносность вендских отложений — важная особенность многих регионов мира. В частности, на западном склоне Южного Урала в песчаниках куккараукской и зиганской свит верхнего венда, по данным Э.З. Гареева [7], содержания  $P_2O_5$  явно повышены (соответственно 1,62 % и 2,04 %).

Вендский возраст отложений александровской толщи доказывается на основе стратиграфического положения в разрезе метаморфического комплекса, состава пород, минералого-петрографического, петрохимического и геохимического материала по метавулканидам, а также находкам в нижней части толщи сильно измененных, предположительно верхнепротерозойских микрофоссилий: *Protosphaeridium* sp., *Leiosphaeridium* sp., cf. *Leiosphaeridia nordia*, cf. *Arctacellularia* sp., *Leiosphaeridia* sp. cf. *Baltisphaeridia* sp., (находки В.П. Муркина, определения О.Я. Долговой, ОАО «Челябинскгеосъемка»). Мощность толщи около 1500 м.

#### **Петрогеохимические особенности пород**

Спектральным количественным и рентгено-флюоресцентным анализами в хлоритовых и хлорит-актинолитовых сланцах александровской толщи установлены следующие элементы (в г/т): уран — 1,0–1,2; торий — 3,7–4,5; литий — 7–10; рубидий — 12–18; бериллий — 0,9–1,7; олово — 1,0; ниобий — 8–11, фтор — 900–990, стронций — 180–230; свинец — 5–7, цирконий — 80 [1]. Относительно кларка повышены концентрации бериллия, фтора, стронция и циркония.

Как отмечено выше, графитистые кварциты содержат высокие значения фосфора, что обусловлено наличием обломковидных и округлых включений графитистых фосфоритов. Содержания в них золота, урана, тория, стронция, бериллия и олова близки кларку и составляют (г/т): 0,006; 1,1; 1,8; 30; 2,0; 5. Значительно ниже кларка (35–59 г/т) в графитистых кварцитах рубидия.

В метавулканидах выделяется два типа пород: с нормальной и повышенной щелочностью (субщелочные метавулканиды) (рисунок 3, таблица 1). В метавулканидах с нор-

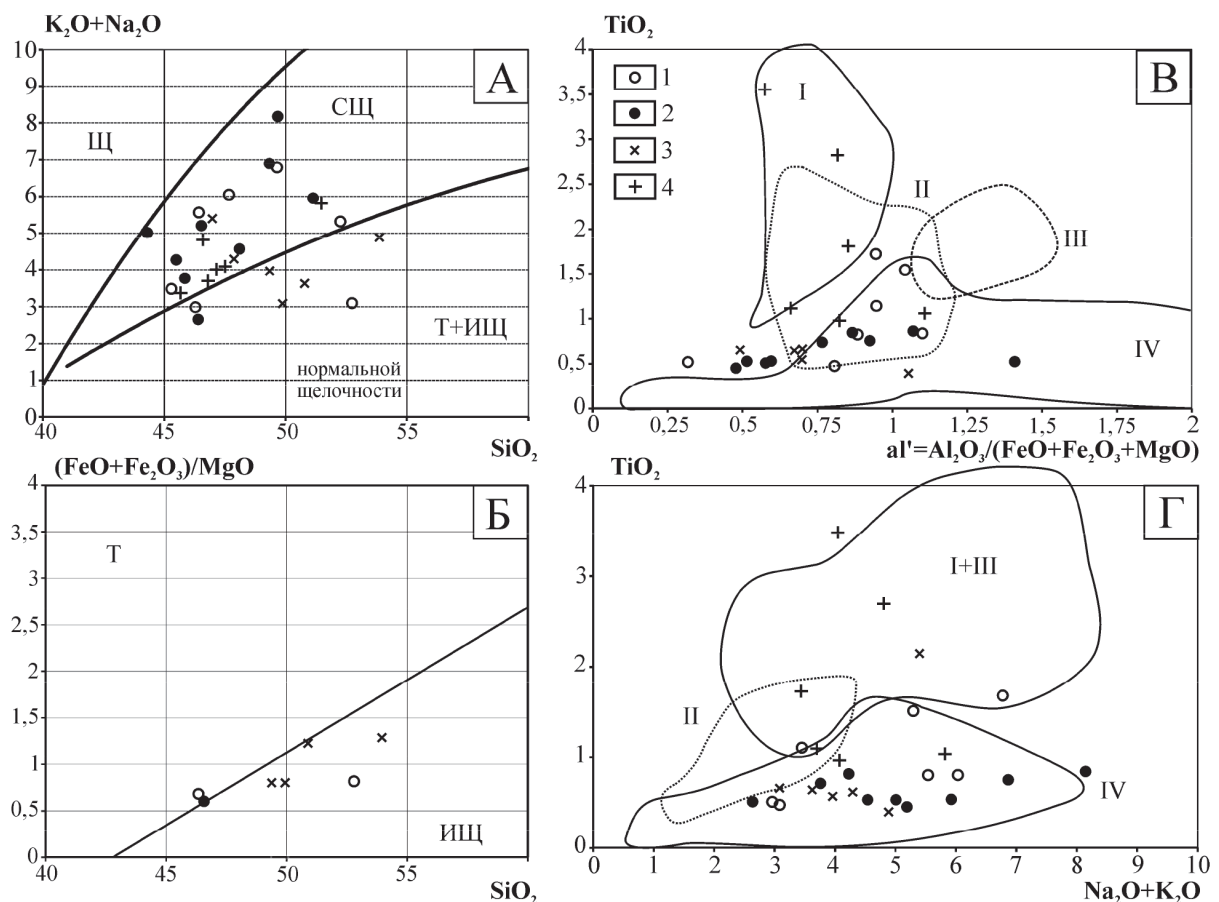
мальной щелочностью, естественно, содержания редких элементов заметно ниже, чем в субщелочных.

Обратимся к рассмотрению геохимических особенностей метавулканитов с нормальной щелочностью (таблица 2). Значения таких элементов, как уран, торий и олово в них близки к кларкам для основных пород (соответственно 3,0; 4,0 и 1,0 г/т). По многим параметрам, а именно: содержанию (г/т) лития (5,6–9,0), рубидия (4,8–9,3), стронция (270–366), бария (152–200), циркония (83–126) метабазальты александровской толщи близки основным эффузивам континентальных рифтовых зон [9–12].

Средние значения концентраций перечисленных выше элементов приведены в таблице 2. По сравнению с породами Африканских рифтов [9] в метабазальтах рассматриваемой толщи не много меньше стронция (270–366, в среднем 331 г/т, против 410 г/т). В то же время его содержание близко вендским метабазаль-

там (340 г/т) Южного Урала [13] и трахибазальтам аршинской свиты (430 г/т, таблица 2) [14]. Близки к базальтам континентальных рифтов и содержания в метавулканитах александровской толщи ниобия (10 г/т), бериллия (1,8 г/т), фтора (740 г/т). Подтверждение тому мы находим при рассмотрении в последних редкоземельных элементов (таблица 2).

В субщелочных метабазальтах александровской толщи практически всех редких элементов, за исключением элементов группы железа, больше, чем в метавулканитах нормальной щелочности. Наиболее значимые отличия наблюдаются по содержанию литофильных, редкоземельных элементов, отношению лантана к иттербию. По содержанию суммы щелочей, калия, набору редких элементов они близки натровым базальтам известково-щелочной серии [10]. Много общего у них и с трахибазальтами аршинской серии венда и метабазальтами машакской свиты среднего рифея [14], хотя здесь есть и неболь-



Условные обозначения: 1 — метавулканиты, 2 — метавулканокластиты, 3 — метабазальты, 4 — метадолериты (см. таблицу 1). Поля составов базальтов по Д.Е. Савельеву и др. [8] для диаграмм В и Г: I — эпиплатформенных континентальных рифтов, II — срединно-океанических хребтов, III — эпиорогенных континентальных рифтов, IV — островных дуг

**Рисунок 3.** Диаграммы  $SiO_2$  —  $(Na_2O+K_2O)$  (А),  $SiO_2$  —  $(FeO+Fe_2O_3)/MgO$  (Б),  $al'$  —  $TiO_2$  (В) и  $TiO_2$  —  $(Na_2O+K_2O)$  (Г) для вулканических пород александровской толщи

Таблица 2. Химический и редкоэлементный состав толеитовых базальтов

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO <sub>2</sub>	49,80	51,60	50,14	48,81	48,80	47,56	46,84	51,57	50,90	50,65	48,63	47,20	48,61
TiO <sub>2</sub>	1,50	1,60	1,40	1,65	2,38	2,71	2,75	0,80	1,58	0,63	0,75	0,82	3,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,73	16,33	15,65	15,14	14,21	14,07	14,98	15,91	14,10	15,19	13,21	15,81	16,87
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,51	3,11	—	—	—	—	—	—	3,75	1,94	1,67	1,96	12,0
FeO	8,02	7,72	9,84*	11,9*	10,7*	11,9*	11,4*	9,52*	9,85	7,88	7,83	8,60	4,33
MnO	0,20	0,20	—	—	—	—	—	—	0,20	0,23	0,17	0,21	0,24
MgO	8,02	6,21	7,87	7,80	7,75	7,31	6,18	6,73	7,63	7,18	9,28	8,11	4,29
CaO	11,42	10,02	11,66	11,89	10,71	9,71	8,72	11,74	8,97	11,73	11,84	8,87	6,52
Na <sub>2</sub> O	2,61	2,51	2,61	2,16	2,29	3,44	3,43	2,41	3,01	2,13	2,59	3,26	3,03
K <sub>2</sub> O	0,20	0,70	0,17	0,19	0,37	1,30	3,53	0,44	0,39	0,33	0,63	1,50	0,51
Li	4	11	—	—	—	—	—	—	—	10	7	13	—
Rb	2	20	1,5	2,9	7,2	26	85	5,0	—	24	7	21	—
Sr	120	410	129	90	288	580	1300	200	100	126	331	548	430
Ba	43	260	22	60	127	380	970	75	210	186	171	309	340
La	4,0	7,7	3,5	6,3	13	34	80	1,1	8,4	7,7	6,4	18	41
Sm	3,5	4,1	3,1	3,9	6,6	—	—	0,7	3,5	3,2	3,2	6,5	8,4
Yb	3,2	2,4	3,3	3,6	3,2	2,6	3,1	1,4	1,1	1,6	2,8	2,7	—
Y	27	24	33	22	50	31	36	—	12	—	—	—	11
Zr	86	100	95	99	161	295	353	70	—	157	97	129	—
V	290	250	312	314	455	295	265	270	278	—	—	—	180
Cr	318	160	302	224	160	200	307	50	67	114	217	183	40
Co	50	40	41	45	50	48	38	30	50	63	47	45	108
Ni	110	85	113	104	92	127	98	30	65	78	112	88	17
K/Rb	830	387	940	544	426	415	345	731	—	112	742	595	—
Rb/Sr	0,02	0,04	0,01	0,06	0,02	0,04	0,06	0,01	—	0,19	0,02	0,04	—
La/Yb	1,14	3,21	1,06	1,75	4,10	13,1	25,5	0,80	7,6	4,8	2,3	6,5	—
Ni/Co	2,20	2,12	2,75	2,31	1,84	2,60	2,60	1,00	1,30	1,24	2,38	1,96	0,16

Примечания: FeO\* = FeO + 0,9 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 1 — океанический толеит; 2 — континентальный толеит [9]; 3 — толеит океанических рифтовых зон (объем выработки n = 416); 4 — внутриплитовые толеитовые базальты; 5 — внутриплитовые толеитовые базальты (n = 426) [10]; 6 — натровые базальты щелочно-базальтовой серии (n = 254); 7 — калиевые базальты щелочно-базальтовой серии (n = 44); 8 — низкохром-никелевые толеитовые базальты (n = 87) [11]; 9 — metabазальты машакской свиты (n = 26) [14]; 10 — метавулканыты еремкинской толщи (n = 21); 11 — метавулканыты александровской толщи (n = 14); 12 — субщелочные метавулканыты александровской толщи (n = 16) [1]; 13 — трахибазальты аршинской свиты [14]; «—» — содержание элемента ниже чувствительности анализа

шие расхождения, в частности, по щелочности, спектру лантаноидов и степени их дифференцированности (таблица 2).

Определенный интерес вызывает рассмотрение геохимических особенностей метавулканокластитов. По содержанию рубидия (8–70 г/т), стронция (153–490 г/т), циркония (56–120 г/т) и самария (2,4–3,4 г/т) они сопоставимы с метавулканытами. Неожиданно высокие значения в метавулканокластитах лантана (8,4–14 г/т) и низкие — иттербия (0,58–0,63 г/т), что очень близко к оливиновым толеитам Байкальской рифтовой зоны [15]. При сравнении метариолитов александровской толщи с кислыми вулканытами рифтовых зон [16] можно отметить большое сходство по содержанию рубидия (106–130 г/т), циркония (188–243 г/т) и стронция (400–436 г/т).

#### *Палеогеодинамические условия формирования метавулканытитов*

В разделе «Петрогеохимические особенности пород» проблема палеогеодинамических условий образования отложений александровской толщи в нескольких местах рассматривалась. В частности, отмечалось, что metabазальты и метавулканыты по целому ряду элементов похожи на основные эффузивы континентальных рифтов, а метавулканокластиты — на оливиновые толеиты Байкальского рифта.

Рассмотрим этот вопрос с помощью серии характеристических диаграмм, основанных на силикатном анализе проб вулканогенных пород основного состава (таблица 1, рисунок 3). Из рисунка 3А хорошо видно, что 75 % из них попадают в субщелочное поле, а остальные 25 % — в объединенное толеито-



вое и известково-щелочное. Последние с помощью диаграммы  $\text{SiO}_2 - (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3) / \text{MgO}$  были разделены (рисунок 3Б). Все они укладываются в известково-щелочное поле. На двух других диаграммах  $\text{TiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})$  и  $\text{TiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  (рисунок 3В и 3Г), имеющих непосредственное отношение к реконструкции палеогеодинамических обстановок, породы александровской толщи разделились. Метадолериты в большинстве своем попали в поле эпиплатформенных континентальных рифтов, а метавулканы, метавулканокластиты и metabазальты почти все ложатся в область островных дуг, т.е. их образование происходило в обстановке сжатия. Учитывая тот факт, что в верхнерифейско-вендское время в пределах Кочкарского антиклинория происходило формирование гнейсо-мигматитовых куполов (Варламовского, Борисовского, Санарского и Еремкинського), появление здесь пород «островодужного» типа становится понятным. Напомню, что ранее [1] механизм формирования мигматитовых куполов нами объяснялся двусторонним сжатием, которое испытало Восточно-Уральское поднятие в период подъема мантийных диапиров в Магнитогорском и Восточно-Уральском прогибах. С учетом всего комплекса данных (геологических, петрохимических и геохимических) можно предположить, что породы александровской толщи образовались в обстановке континентального рифтогенеза.

### Выводы

Таким образом, в пределах Кочкарского антиклинория еремкинская, кучинская, а также светлинская толщи (рисунок 1) представляют собой три ритма, каждый из которых начинается грубообломочными, нарастается мелко-тонкообломочными и завершается карбонатными породами [1]; александровская толща сложена однородными песчано-алевролитовыми отложениями, что указывает на грабеновую динамическую обстановку. Особенности пород каждого ритма являются: присутствие в их основании молассоидных отложений; наличие, хотя и незначительное, основных эффузивов, характерных для обстановок континентального рифтогенеза, среди которых есть и субщелочные

разновидности; постепенное уменьшение вверх по разрезу размерности терригенных осадков и т.д. На основе геологических, минералогических данных, находок микрофоссилий, определений абсолютного возраста по цирконам [17] породы Восточно-Уральского поднятия, по-видимому, сопоставимы с отложениями верхнего протерозоя Башкирского мегантиклинория.

Наиболее обосновано сопоставление александровской толщи (Кочкарский антиклинорий) с ашинской серией (Центрально-Уральское поднятие). Это доказывается: резко повышенной фосфатоносностью песчаников куккараукской и зиганской свит верхнего венда (соответственно 1,62 % и 2,04 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) [7] и кварцитов верхов александровской толщи (до 1,95 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ ); находками микрофоссилий; составом терригенных и геохимическими особенностями вулканогенных отложений; почти полным отсутствием карбонатных прослоев; сходной геодинамической обстановкой накопления пород; находками алмазов в вендских и ордовикских песчаниках обеих структур [17]. Напомним, что аномальная фосфатоносность вендских отложений — важная особенность многих регионов мира [6].

В то же время необходимо отметить интенсивные преобразования рифей-вендских отложений Восточно-Уральского поднятия относительно Башкирского. Объясняется этот факт резко возросшим во второй половине рифея тепловым потоком, длительное существование которого привело к плавлению крупных масс пород на глубине и их диапироидному всплытию. По мере роста куполов и подъема разуплотненного материала происходила постепенная гранитизация и метаморфизм пород сланцевого комплекса, образование крупной системы разрывных нарушений, обрамляющих Кочкарский антиклинорий. Новый этап эпиконтинентального рифтогенеза начинается в венде. В это время формируются вулканы александровской толщи. Субщелочной уклон в развитии магматизма подчеркивает его континентальность. Основу же разреза вендских отложений составляют различного рода песчаники, являющиеся продуктами размыва растущих гранито-гнейсовых куполов.

*Работа выполнена в рамках Государственного заказа по теме № 0246-2019-0078.*

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сначёв В.И., Шулькин Е.П., Муркин В.П., Кузнецов Н.С. Магматизм Восточно-Уральской пояса Южного Урала. Уфа: УОП БНЦ УрО АН СССР, 1990. 178 с.
2. Ковалев С.Г., Сначёв В.И. Гипербазитовые массивы Крака (геология, петрология, металлогения). Уфа: Принт+, 1998. 104 с.
3. Предовский А.А. Реконструкция первичного состава метаморфизованных супракрустальных образований по петрогенным элементам // Стратиграфическое расчленение и корреляция докембрия северо-восточной части Балтийского щита: сб. ст. Л.: Наука, 1970. С. 17-28.
4. Сначёв А.В., Савельев Д.Е., Сначёв В.И. Палладий-золото-редкометаллическая геохимическая ассоциация в углеродистых сланцах зигазино-комаровской свиты, Южный Урал // Руды и металлы. 2010. № 4. С. 14-19.
5. Сначёв А.В., Сначёв В.И., Рыкус М.В., Савельев Д.Е., Бажин Е.А., Ардисламов Ф.Р. Геология, петрогеохимия и рудоносность углеродистых отложений Южного Урала. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2012. 208 с.
6. Ронов А.Б., Бреданова Н.В., Мигдисов А.А. Общие тенденции в эволюции химического состава осадочных и магматических пород земной коры континентов // Геохимия. 1988. № 2. С. 180-199.
7. Гареев Э.З. Геохимия осадочных пород стратотипического разреза рифея: дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: 1989. 315 с.
8. Савельев Д.Е., Сначёв А.В., Пучков В.Н., Сначёв В.И. Петрогеохимические и геодинамические особенности формирования ордовикско-раннесилурийских базальтов восточного склона Южного Урала // Геологический сборник. 2006. № 5. С. 86-104.
9. Бородин Л.С. Геохимия главных серий изверженных пород. М.: Недра, 1981. 195 с.
10. Кузьмин М.И. Геохимия магматических пород фанерозойских подвижных поясов. Новосибирск: Наука, 1985. 199 с.
11. Геодинамические реконструкции / Под ред. В.А. Унксова. Л.: Недра, 1989. 277 с.
12. Альмухамедов А.И. Геохимия толеитового вулканизма спрединговых зон и платформ: дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Иркутск: ИГ Сиб. отд. АН СССР, 1985. 499 с.
13. Герасимовский В.И. Геохимия щелочных базальтов // Геохимия. 1978. № 3. С. 350-358.
14. Парначев В.П. Вулканические комплексы и тектонический режим западного склона Южного Урала в позднем докембрии // Древний вулканизм Южного Урала: сб. ст. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1981. С. 18-30.
15. Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 267 с.
16. Магматические горные породы: В 6 т. Классификация, номенклатура, петрография / Отв. ред. В.И. Гоньшакова. М.: Наука, 1983. Т. 1. 365 с.
17. Сначёв В.И. Магматизм Восточно-Уральской мегазоны Южного Урала и геодинамические условия ее формирования: дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Уфа: 1993. 412 с.

## REFERENCES

1. Snachev V.I., Shchulkin E.P., Murkin V.P., Kuznetsov N.S. *Magmatizm Vostochno-Ural'skoi poyasa Yuzhnogo Urala* [Magmatism of the East Ural Zone of the Southern Urals]. Ufa, UOP BNTs UrO AN SSSR Publ., 1990. 178 p. [in Russian].
2. Kovalev S.G., Snachev V.I. *Giperbazitovye massivy Kraka (geologiya, petrologiya, metallogeniya)* [Hyper Basites Massifs Kraka (Geology, Petrology, Metallogeny)]. Ufa, Print + Publ., 1998. 104 p. [in Russian].
3. Predovskii A.A. *Rekonstruktsiya pervichnogo sostava metamorfizovannykh suprakrustal'nykh obrazovaniy po petrogenным elementam* [Reconstruction of the Primary Composition of Metamorphosed Supracrustal Formations Based on Petrogenic Elements]. *Sbornik statei «Stratigraficheskoe raschlenenie i korrelyatsiya dokembriya severo-vostochnoi chasti Baltiiskogo shchita»* [Collection of Articles «Stratigraphic Subdivision and Correlation of the Precambrian of the Northeastern Part of the Baltic Shield»]. Leningrad, Nauka Publ., 1970, pp. 17-28. [in Russian].
4. Snachev A.V., Savelev D.E., Snachev V.I. *Palladii-zoloto-redkometal'naya geokhimicheskaya assotsiatsiya v uglerodistykh slantsakh zigazino-komarovskoi svity, Yuzhnyi Ural* [Palladium-Gold-Rare-Metal Geochemical Association in Carbonaceous Shales of the Zigazino-Komarovskaya Suite, South Urals]. *Rudy i metally — Ores and Metals*, 2010, No. 4, pp. 14-19. [in Russian].
5. Snachev A.V., Snachev V.I., Rykus M.V., Savelev D.E., Bazhin E.A., Ardislamov F.R. *Geologiya, petrogeokhimiya i rudonosnost' uglerodistykh otlozhenii Yuzhnogo Urala* [Geology, Petrogeochemistry and Ore Carbonaceous Deposits of the Southern Urals]. Ufa, DizainPoligrafServis Publ., 2012. 208 p. [in Russian].
6. Ronov A.B., Bredanova N.V., Migdisov A.A. *Obshchie tendentsii v evolyutsii khimicheskogo sostava osadochnykh i magmaticheskikh porod zemnoi kory kontinentov* [General Trends in the Evolution of the Chemical Composition of Sedimentary and Igneous Rocks of the Continental Crust]. *Geokhimiya — Geochemistry International*, 1988, No. 2, pp. 180-199. [in Russian].
7. Gareev E.Z. *Geokhimiya osadochnykh porod stratotipicheskogo razreza rifeya: dis. kand. geol.-min. nauk* [Geochemistry of Sedimentary Rocks of the Riphean Stratotype Section: Cand. Geological and Mineralogical Sci. Diss.]. Moscow, 1989. 315 p. [in Russian].
8. Savelev D.E., Snachev A.V., Puchkov V.N., Snachev V.I. *Petrogeokhimicheskie i geodinamicheskie osobennosti formirovaniya ordoviksko-rannesiluriiskikh bazal'tov vostochnogo sklona Yuzhnogo Urala* [Petrogeochemical and Geodynamic Features of the Formation of Ordovician-Early Silurian Basalts on the Eastern Slope of the Southern Urals]. *Geologicheskii sbornik — Geological Collection*, 2006, No. 5, pp. 86-104. [in Russian].
9. Borodin L.S. *Geokhimiya glavnykh serii izverzhennykh porod* [Geochemistry of the Main Series of Igneous Rocks]. Moscow, Nedra Publ., 1981. 195 p. [in Russian].
10. Kuz'min M.I. *Geokhimiya magmaticheskikh porod fanerozoiskikh podvizhnykh poyasov* [Geochemistry of Magmatic Rocks of Phanerozoic Mobile Belts]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1985. 199 p. [in Russian].

11. *Geodinamicheskie rekonstruktsii* [Geodynamic Reconstruction]. Ed. by V.A. Unksova. Leningrad, Nedra Publ., 1989. 277 p. [in Russian].
12. Almukhamedov A.I. *Geokhimiya toleitovogo vulkanizma spredingovykh zon i platform: dis. d-ra. geol.-min. nauk* [Geochemistry of Tholeiitic Volcanism in Spreading Zones and Platforms: Doct. Geological and Mineralogical Sci. Diss.]. Irkutsk, IG Sib. otd. AN SSSR Publ., 1985. 499 p. [in Russian].
13. Gerasimovskii V.I. *Geokhimiya shchelochnykh bazal'tov* [Geochemistry of Alkaline Basalts]. *Geokhimiya — Geochemistry International*, 1978, No. 3, pp. 350-358. [in Russian].
14. Parnachev V.P. *Vulkanicheskie komplekсы i tektonicheskiy rezhim zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala v pozdnem dokembrii* [Volcanic Complexes and Tectonic Regime of the Western Slope of the Southern Urals in the Late Precambrian]. *Sbornik statei «Drevnii vulkanizm Yuzhnogo Urala»* [Collection of Articles «Ancient Volcanism of the Southern Urals»]. Sverdlovsk, UNTs AN SSSR Publ., 1981, pp. 18-30. [in Russian].
15. Balashov Yu.A. *Geokhimiya redkozemel'nykh elementov* [Geochemistry of Rare Earth Elements]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 267 p. [in Russian].
16. *Magmaticheskie gornye porody: V 6 T. Klassifikatsiya, nomenklatura, petrografiya* [Igneous Rocks: In 6 Volumes. Classification, Nomenclature, Petrography]. Managing Ed. V.I. Gonshakova. Moscow, Nauka Publ., 1983, Vol. 1. 365 p. [in Russian].
17. Snachev V.I. *Magmatizm Vostochno-Ural'skoi megazoni Yuzhnogo Urala i geodinamicheskie usloviya ee formirovaniya: dis. d-ra. geol.-min. nauk* [Magmatism of the East Ural Megazone of the South Urals and the Geodynamic Conditions of its Formation: Doct. Geological and Mineralogical Sci. Diss.]. Ufa, 1993. 412 p. [in Russian].

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ ABOUT THE AUTHOR

**Сначёв Владимир Иванович**, д-р геол.-минерал. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории «Рудных месторождений», Институт геологии, УФИЦ РАН, г. Уфа, Российская Федерация

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

e-mail: SAVant@inbox.ru