

УДК 551.21(735.1):553.531(234.853)

Д. Н. Салихов

## КИСЛЫЙ ВУЛКАНИЗМ НИЖНЕГО КАРБОНА МАГНИТОГОРСКО-БОГДАНОВСКОГО ГРАБЕНА НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

**Аннотация.** В работе рассмотрены особенности распределения продуктов кислого вулканизма в пределах Магнитогорско-Богдановского грабена. Показаны вариации составов пород и контроль их размещения разными частями грабена и вулканическими типами извержений (область раздвига с трещинным излиянием базальтов, вулканические сооружения типа стратовулканов, щитовидные постройки и мелкие вулканические аппараты, составляющие ареальный тип вулканизма). Выделены различные петрохимические и геохимические типы пород.

**Ключевые слова:** риолит, трахириодацит, грабен, стратовулкан, щитовидный вулкан.

В раннекаменноугольное время наиболее интенсивно вулканизм проявился в Магнитогорско-Богдановском грабене [Салихов, Яркова, 1992]. Фрагменты вулканической деятельности этого времени известны в локальных участках и в сокращенных разрезах Магнитогорского мегасинклиория — в Вознесенско-Сакмарской зоне в районе пос. Миндяк, в Иргизской зоне — на побережье р. Иргиз, в Восточно-Уральском поясе к северу от Джабык-Карагайского антиклиория и в пределах Еманжелинской синклинали по р. Увельке, и севернее Кособродского района, а также в Александринско-Денисовской зоне по р. Карталы-Аят и в пределах Таракановского участка. Среди названных участков продукты кислого вулканизма известны в Магнитогорско-Богдановском грабене, в Иргизской (р. Карталы) зоне и Восточно-Уральском поясе.

В Магнитогорско-Богдановском грабене вулканическая деятельность начиналась с излияния базальтов в начале позднего турне и длилась непрерывно по поздний визе раннего карбона включительно. Кислые продукты вулканической деятельности известны с уровня кизеловского времени позднего турне по каменск-уральское время позднего визе. Извержения происходили ритмично, формируя вулканогенный разрез основных и кислых пород. Первый наиболее ранний ритм датирован кизеловским временем, что можно видеть в Жинкинском, Чекинском и Березовском разрезах (рис. 1), описанных в работе [Салихов, Яркова, 1992].

Последующие ритмы являются сокращенными или, напротив, растянуты во времени формиро-

вания (рис. 1). Так, в Чекинском разрезе в косьвинское время установлено два последовательно сформированных ритма. В Узун-Зяльском разрезе жуковская и каменск-уральская толщи отвечают одному ритму. В нижней части Зингейского разреза вулканиты косьвинского и обручевского горизонтов отвечают одному ритму, а в верхней части разреза ритм более продолжительный — от бурлинского по каменск-уральское время. Кроме того, есть разрезы, где основные и кислые вулканогенные породы переслаиваются в объеме одной пачки, что можно наблюдать в кизеловском горизонте Березовского разреза.

Кислые вулканиты косьвинского времени также отмечаются в разрезах г. Магнитной и Аблязовском. Обручевский горизонт представлен слоистыми туффитами и туфами трахидацитов на Аблязовском участке по руч. Зингейка, объединенными в урпекскую толщу. Обручевский горизонт кислых вулканитов здесь является продолжением базальтов косьвинского горизонта. Аналогичная картина смены риодацитов косьвинского горизонта базальтами обручевского горизонта известна в разрезах восточной Полоцко-Аркаимской подзоны грабена.

Самый молодой базальт-трахириолитовый ритм отвечает жуковскому и каменск-уральскому времени позднего визе, известного в Новопоцком разрезе Полоцко-Аркаимской подзоны грабена и в Магнитогорской подзоне в разрезах Первооктябрьский и Узун-Зяль. В разрезе Кремниевый лог жуковско-каменск-уральский ритм перекрывается базальтами аверинского и богдановичского горизонтов.

Мощность кислых вулканитов в указанных разрезах составляет от 100 до 300 м. В пределах



пачки мощности переслаивающихся слоев кислых и основных пород отвечают первым метрам. Максимальное количество кислых вулканитов известно в пределах Чекинского стратовулкана, где скважина прошла более 700 м и остановлена в них же. В разрезе названного стратовулкана выделяются четыре ритма основных и кислых вулканитов. В других разрезах количество ритмов ограничивается одним или двумя, при этом время их формирования, как отмечалось выше, и их масштабность разная. Мощность полного ритма основных и кислых продуктов вулканизма варьирует от 500 до 2500 м.

В толщах кислых вулканитов фауна установлена в Чекинском разрезе и, как отмечалось выше, соответствует кизеловскому времени позднего турне. В других разрезах фауна обнаружена в линзах и прослоях известняков и терригенных осадках среди подстилающих и (или) перекрывающих базальтов, отвечающих временному интервалу от начала позднего турне по поздний визе включительно.

Вулканогенные образования нижнего карбона в пределах грабена в целом отвечают контрастной формации. Промежуточные типы пород пользуются ограниченным распространением.

В ассоциации базальтов такие переходные породы соответствуют андезитам, которые в небольшом объеме известны в нижних горизонтах березовского комплекса. В ряду кислых пород такой переходной разновидностью является трахит, который отмечен в верхних горизонтах разреза визе.

В разрезе кислых вулканитов особенно много пирокластических фаций. Различаются лапиллиевые, бомбовые, грубообломочные и туфы смешанного состава, а также ксенотуфы. Не всегда уверенно можно выделить разрезы, формировавшиеся в наземных условиях. Эффузивные лавовые фации также известны в разных широтах проявления кислого вулканизма, однако они не часто встречаются. Несколько таких пунктов отмечены ранее [Салихов, Яркова, 1992] и описаны в рукописной работе Г.И. Чайко и др. [1984ф]. Игнимбриты, наземная природа которых не вызывает сомнения, описаны также в работах Г.А. Смирнова и Т.А. Смирновой [1967], Ал.В. Тевелева и др. [2005]. Среди других лавовых образований кислого состава следует особо отметить экструзивные купола, субвулканические тела и дайки, которые пользуются довольно широким распространением. Не всегда можно отличить экструзивные купола от субвулканических тел, за исключением тех примеров, когда в экзоконтактовом ареале вокруг первых присутствуют обломочные риолиты экструзива.

Породы кислого вулканизма в раздвиговой области грабена отвечают трахириодацитам и риодацитам. Первые развиты в среднем секторе, а вто-

рые — в северном секторе грабена, а также в ареале распространения стратовулканов и в области арельного вулканизма. Обычные риолиты распространены в пределах щитовидных построек, а низкощелочные разновидности вместе с отмеченными выше риодацитами ограничены северным сектором грабена. Щелочные риодациты (пантеллериты) обнаружены в среднем секторе грабена. Низкощелочные, нормально-щелочные дациты и трахидациты развиты в восточном и юго-восточном обрамлении северного сектора грабена. Названные разновидности пород характеризуются структурно-текстурными вариациями — это и однородные афировые, иногда перлитовые, флюидальные и брекчиевидные, миндалекаменные и глобулярные, а также с разной степенью порфировости и кристалличности. Кислые вулканогенные фации ранних ритмов имеют преимущественно темно-сиреневую, серую, зеленоватую и розовую окраску. В разрезе заключительных ритмов широко представлены ярко-розовые, рыжие и желтоватые тона разновидностей пород.

Химические составы кислых вулканитов представлены в табл. 1. По петрохимической характеристике они отвечают в основном трахириодацитам и риодацитам (рис. 2). В небольшом объеме присутствуют щелочные риодациты (пантеллериты), а также трахидациты, дациты и низкощелочные



Рис. 2. Петрохимические разновидности кислых вулканогенных пород (I — вулканиты среднего сектора грабена; II — вулканиты северного сектора грабена)

Таблица 1

## Петрохимические составы кислых вулканитов

№№ пробы	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	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
1/431	60,92	0,88	17,32	1,59	3,33	0,18	1,15	3,06	6,29	2,37	0,20	0,40	100,15
1/1102	61,60	1,07	16,34	2,55	3,60	0,05	2,04	1,62	5,42	3,47	0,27	0,40	99,77
1/397	63,44	0,66	16,39	1,29	3,20	0,14	1,16	4,40	2,85	2,85	0,10	0,40	99,68
1/758	64,78	0,84	16,31	2,02	1,94	0,10	1,19	1,83	4,86	3,26	0,15	1,32	100,26
1/305	67,16	0,70	16,11	1,40	1,94	0,07	1,44	1,15	6,00	2,20	0,11	0,40	99,04
314/2010	67,80	0,43	14,00	1,75	1,44	0,13	1,81	1,00	6,90	3,70	0,23	1,00	100,19
302/2010	68,60	0,63	14,85	2,60	0,80	0,13	1,81	2,00	3,75	4,40	0,24	0,20	100,01
2066/603	68,93	0,78	16,11	1,01	2,20	0,05	1,06	1,03	6,25	1,05	0,17	0,40	100,24
281/2010	69,00	0,32	14,90	1,00	1,00	0,07	1,70	1,20	5,02	5,00	0,15	0,50	99,81
254/2010	69,10	0,60	15,13	3,57	0,35	0,04	0,85	1,80	3,75	4,45	0,08	0,10	99,82
260/2010	70,00	1,75	11,28	1,00	2,87	0,09	3,40	4,00	4,31	0,25	0,24	1,22	100,22
300/2010	70,00	0,60	14,25	1,29	0,86	0,04	1,70	1,80	4,75	5,00	0,10	0,10	100,49
301/2010	70,00	0,60	14,55	2,80	0,57	0,05	0,85	2,40	3,80	4,40	0,14	0,40	100,06
282/2010	70,00	0,50	13,90	1,89	0,93	0,05	1,70	1,80	5,10	3,40	0,14	0,50	99,91
280/2010	71,00	0,52	14,00	2,02	1,00	0,07	1,98	2,20	3,40	3,10	0,10	0,22	99,61
22/665	71,28	0,38	14,23	1,60	1,26	0,04	0,74	0,31	4,41	4,43	0,37	0,40	99,73
312/2010	71,50	0,26	13,60	1,00	0,43	0,08	0,65	1,60	2,75	5,55	0,06	2,30	99,78
310/2010	71,80	0,39	14,00	0,89	2,51	0,03	0,85	1,40	3,75	4,10	0,07	0,74	100,53
250/2010	72,00	0,53	14,90	3,10	0,35	0,06	0,85	0,24	6,45	1,25	0,07	0,20	100,00
270/2010	72,00	0,28	14,60	2,00	0,50	0,06	0,85	1,40	3,75	3,88	0,05	0,10	99,47
313/2010	72,00	0,08	13,00	1,00	0,50	0,01	2,00	0,60	6,00	3,70	0,06	0,80	99,75
308/2010	72,10	0,44	13,90	1,35	0,35	0,01	0,85	1,40	3,40	4,85	0,04	1,20	99,79
6066/391	72,95	0,51	14,64	1,64	0,73	0,03	0,79	0,96	2,00	3,56	0,11	0,40	100,60
2066/600	74,92	0,14	13,33	0,75	0,55	0,05	2,10	0,55	2,63	2,74	0,02	0,88	100,39
2066/418	75,81	0,47	13,37	1,65	0,73	0,04	0,79	0,59	3,91	1,83	0,10	0,40	100,79
2066/844	76,92	0,16	13,01	0,75	0,50	0,03	0,31	1,07	2,72	3,00	0,02	0,40	100,21
2066/856	78,74	0,16	11,43	0,54	0,58	0,03	0,23	0,70	4,14	3,00	0,03	0,40	100,29
271/2010	81,00	0,08	8,20	1,00	0,30	0,03	0,85	1,60	0,54	6,00	0,05	0,10	99,75

**Примечание:** 1/1102, 1/397, 1/758, 2066/603 — трахидацинты; 1/397 — дациты; 281/2010, 314/2010 — щелочные риодациты; 302/2010, 254/2010, 300/2010, 301/2010, 282/2010, 22/665, 312/2010, 310/2010, 313/2010, 308/2010 — трахириодациты; 280/2010, 250/2010, 270/2010 — риодациты; 2066/856, 271/2010 — риолиты; 6066/391, 2066/600, 2066/418, 2066/844 — низкощелочные риолиты.

риодациты. Заметная роль в объеме кислых вулканитов принадлежит риолитам и группе низкощелочных риолитов. Фигуративные точки кислых вулканитов пространственно контролируются разными частями грабена. В северном секторе грабена развиты породы с абсолютно низкими и относительно пониженными содержаниями щелочей, в среднем и южном секторах грабена — субщелочные и щелочные разновидности кислых вулканитов. Подавляющее большинство проанализированных пород отвечают калий-натриевой серии. Среди риодацитов и трахириодацитов и низкощелочных риолитов широко развиты разновидности с повышенной калиевоcтью ( $\xi\text{Na} = 0,4-1$ ) и очень редко присутствуют породы с повышенной натриевоcтью ( $\xi\text{Na} = 2-4$ ) и отвечающие натриевой серии. Заметим, что

низкощелочные риолиты характеризуются повышенным индексом петрохимической лейкократовости и высокой кремнекислотностью. Среди трахидацинтов и дацитов присутствуют лишь калий-натриевые разновидности, а высококалиевые разновидности ( $\xi\text{Na} < 1$ ) не обнаружены. Кислые вулканиты карбона характеризуются весьма высокой глиноземистостью ( $al' = 2,3-6,1$ ) и лишь единичные анализы дают показатели ( $al' = 1,4$ ), отвечающие категории высокоглиноземистых.

Редкие щелочи в кислых вулканитах характеризуются незначительными вариациями (табл. 2, рис. 3). При этом абсолютные содержания редких щелочей повышены относительно как хондрита, так и базальтов нижнего карбона. Укажем на содержание лития, вариации которого максимальны для редких

## Микроэлементный состав кислых вулканитов

№	321/2010	318/2010	300/2010	322/2010	324/2010	336/2010	314/2010	307/2010	313/2010	280/2010
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Li	16,382	2,048	4,294	5,307	5,425	5,286	8,292	1,530	8,631	15,117
Be	1,169	1,532	2,529	1,358	1,786	1,277	1,641	1,164	2,327	2,482
P	1075,595	287,121	766,931	209,884	726,735	261,573	1275,158	200,569	169,674	424,895
Sc	10,890	9,562	8,084	5,059	5,580	1,693	8,152	2,064	4,189	5,181
Ti	4834,482	2214,782	4528,491	1654,288	3755,358	1558,874	3518,270	1133,136	883,495	2341,518
V	60,931	1,052	26,345	8,721	22,554	11,084	50,965	14,882	9,134	11,755
Cr	163,292	156,827	9,071	6,088	4,418	3,384	57,061	4,432	19,304	7,395
Mn	350,545	310,989	392,771	201,091	292,578	33,485	509,167	80,556	138,270	227,005
Fe	30823,023	19701,847	22615,788	20492,080	17669,833	13201,117	22058,893	13215,197	20433,343	17837,999
Co	9,316	0,651	1,903	1,010	0,905	1,290	4,987	0,936	1,360	1,888
Ni	250,157	194,528	18,007	10,055	8,265	7,009	25,853	4,749	22,028	6,124
Cu	393,339	8,691	9,896	6,888	8,320	7,188	14,409	5,820	77,719	9,649
Zn	62,009	67,835	58,622	26,702	93,565	32,278	61,106	32,919	28,910	68,875
Ga	15,763	20,119	20,654	20,178	20,965	14,787	17,666	14,335	16,290	18,516
Ge	1,141	1,516	0,878	1,011	1,076	1,186	1,501	0,820	1,637	1,341
As	1,886	1,466	1,760	2,906	1,788	1,350	7,177	1,009	2,753	2,142
Se	н/о	0,096	0,275	0,107	0,199	н/о	0,367	н/о	н/о	0,141
Rb	34,916	56,554	44,501	31,718	55,850	28,180	50,719	80,170	121,926	57,408
Sr	109,274	44,960	49,761	16,952	180,334	29,832	129,562	117,626	103,755	129,589
Y	23,389	23,591	37,061	20,923	18,530	6,465	23,745	10,630	34,169	26,593
Zr	179,673	338,749	535,074	410,219	287,977	179,125	208,006	106,983	115,147	358,283
Nb	7,887	11,326	20,066	11,903	10,979	11,050	9,636	11,163	7,839	15,392
Mo	1,220	3,327	0,936	0,986	0,709	1,014	0,908	0,743	0,553	2,451
Cd	0,239	0,386	0,590	0,509	0,365	0,231	0,308	0,111	0,137	0,404
Sn	24,093	2,752	3,882	3,128	2,038	1,813	2,510	1,382	7,454	3,427
Sb	0,489	0,491	0,439	0,597	0,241	0,217	0,514	0,306	0,948	0,311
Te	0,027	0,017	0,024	0,017	0,017	0,010	0,011	0,026	0,002	0,001
Cs	0,289	0,151	0,231	0,177	0,449	0,632	0,144	0,553	1,064	0,506
Ba	405,862	733,771	598,313	231,659	1189,199	155,468	576,747	743,628	249,996	358,767
La	15,618	11,769	28,929	6,519	11,771	6,873	17,758	20,313	24,197	19,671
Ce	34,639	33,648	51,757	22,333	29,851	17,366	39,382	37,269	40,506	44,520
Pr	4,298	4,201	7,555	2,803	3,819	2,014	4,932	3,556	5,187	5,389
Nd	17,245	17,188	28,980	12,241	15,312	7,399	20,232	11,181	18,666	19,841
Sm	4,060	4,352	6,070	3,339	3,566	1,533	4,516	2,168	4,223	4,455
Eu	1,302	1,298	1,670	0,767	1,309	0,351	1,207	0,557	0,520	1,033
Gd	4,820	4,727	7,145	3,716	3,980	1,702	5,185	2,555	5,091	4,977
Tb	0,686	0,779	0,977	0,692	0,602	0,236	0,715	0,306	0,790	0,744
Dy	4,290	5,005	6,196	4,657	3,831	1,443	4,454	1,718	5,207	4,687
Ho	0,871	1,087	1,329	1,029	0,796	0,301	0,938	0,358	1,149	1,020
Er	2,605	3,388	3,998	3,171	2,483	0,924	2,872	1,043	3,524	3,089
Tm	0,381	0,493	0,616	0,492	0,368	0,151	0,435	0,171	0,545	0,484
Yb	2,579	3,369	4,311	3,451	2,624	1,072	3,022	1,174	3,805	3,301
Lu	0,389	0,509	0,662	0,516	0,411	0,174	0,458	0,192	0,575	0,504
Hf	4,453	7,989	11,956	9,636	6,647	4,693	5,531	2,946	3,935	8,062
Ta	0,584	0,756	1,222	0,802	1,707	0,926	0,684	1,112	1,097	1,087
W	1,911	1,813	0,546	1,657	0,737	0,952	1,554	1,069	2,080	0,559
Tl	0,098	0,228	0,212	0,197	0,416	0,245	0,330	0,393	0,530	0,230

Таблица 2 (окончание)

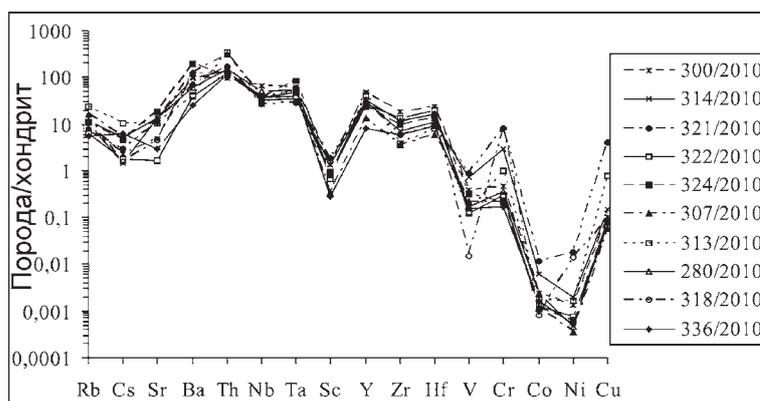
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Pb	25,553	22,659	5,586	0,956	4,081	6,866	9,593	3,508	21,340	13,980
Bi	0,051	0,071	0,071	0,091	0,041	0,125	0,100	0,116	0,697	0,054
Th	6,828	4,794	3,765	4,911	4,208	4,619	5,620	12,657	13,358	5,829
U	3,121	3,342	2,735	3,412	2,430	2,994	2,996	3,307	4,177	2,476

Рис. 3. Микроэлементы в кислых вулканитах

щелочей. Сходные вариации отмечаются для бария, тория, а также элементов группы HFSE (Zr, Nb, Hf, Ta), абсолютные содержания которых повышены относительно базальтов нижнего карбона.

Интересны данные по содержаниям элементов группы железа — V, Cr, Co, Ni, Cu. Всем им свойственен широкий диапазон количественных вариаций (рис. 3). Максимальные значения содержания названных элементов свойственны кислым вулканитам. Пространственно они контролируются раздвиговыми зонами и щитовидными построениями. Именно в этих зонах присутствуют кислые вулканиты с повышенным содержанием хрома и никеля, а также титана, ванадия и в излившихся базальтах, и в кислых породах. Заметим, что в некоторых анализах из тех же мест отмечаются в повышенных количествах только ванадий и титан. Из сказанного следует, что неравномерная повышенная роль названных элементов связана с присутствием в кислых вулканитах соответствующих минералов (хромита, хромпикотита), которые распределены в породах неравномерно. И на самом деле, в шлифах трахириодацитов обнаружены названные минералы. Хромит и хромпикотит, как известно, характерны для базальтов. Присутствие этих минералов в кислых вулканитах может свидетельствовать о том, что их магмагенерация происходила в едином пространстве с базальтовым расплавом. Ранние высокотемпературные минералы, основу которых составляют элементы группы железа, легко оказывались, таким образом, в среде кислого расплава.

Кислые вулканогенные породы, получившие развитие за пределами раздвиговых



зон, проявляются в областях действовавших мелких вулканов ареального типа и стратовулканов. В них содержания элементов группы железа варьируют в тех же пределах, но количество проанализированных проб на порядок меньше относительно зон локальных раздвигов.

В кислых вулканитах грабена нестабильно содержание РЗЭ (рис. 4). Суммарные значения РЗЭ колеблются от 41,6 по 150,2 г/т: в кислых породах раздвиговых зон преобладают высокие показатели (91,8–150,2 г/т), а в областях проявления вулканитов центрального типа — низкие (41,6–113,8 г/т). Спектры распределения РЗЭ осложнены слабо проявленными отрицательными аномалиями δEu.

Итак, продукты кислого вулканизма тесно связаны с базальтами, обнаруживая с ними геохимическое родство, обусловленное генерацией расплавов предположительно на границе кора — мантия.

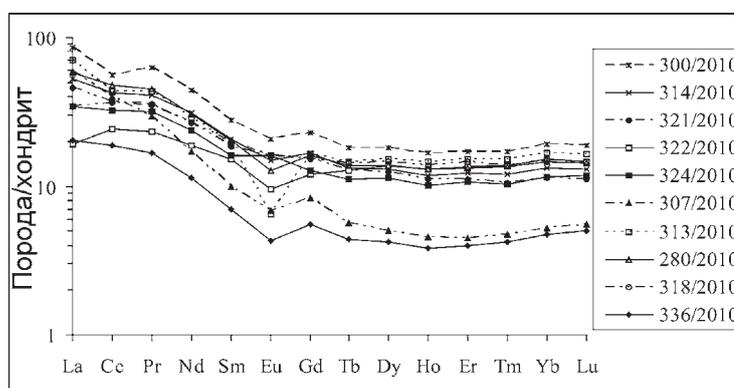


Рис. 4. Распределение РЗЭ в кислых вулканитах

*Работа выполнена при финансовой поддержке совместного проекта УрО РАН, СО РАН, ДВО РАН и ИГ УНЦ РАН № 12-С-5-1022.*

**Литература:**

**Салихов Д.Н., Яркова А.В.** Нижнекаменноугольный вулканизм Магнитогорского мегасинклинория. — Уфа, 1992. — 137 с.

**Смирнов Г.А., Смирнова Т.А.** Материалы к палеогеографии Урала. Очерк IV: Турнейский век. — Свердловск, 1967. — 205 с.

**Тевелев Ал.В., Тихомиров П.Л., Дегтярев К.Е., Кошелева И.А., Мосейчук В.Н., Правикова Н.В., Сурин Т.Н.** Геодинамические обстановки формирования каменноугольных вулканических комплексов Южного Урала и Зауралья // Очерки по региональной тектонике. — М.: Наука, 2005. — Т. 1: Южный Урал. — С. 213–247.

*Сведения об авторе:*

**Салихов Делир Нурзадаевич**, Институт геологии Уфимского научного центра Российской академии наук (ИГ УНЦ РАН), г. Уфа. E-mail: magm@ufaras.ru.

**LOWER CARBONIFEROUS ACID VOLCANISM WITHIN THE MAGNITOGORSK-BOGDANOVKA GRABEN OF THE SOUTH URALS**

**D.N. Salikhov**

**Salikhov Delir Nurzadaevich**, Institute of geology of the Ufimian scientific centre (IG USC RAS), Ufa, Russia. E-mail: ig@ufaras.ru.

**Abstract.** The paper considers peculiar distribution patterns of acid volcanic products within the Magnitogorsk-Bogdanovka Graben. It reveals the composition variations of rocks and control over their location exerted by different parts of the graben and types of volcanic eruptions (expansion area with basaltic fissure effusions, volcanic structures like stratovolcanoes, shield-shaped edifices and small volcanic apparatuses representing the areal type of volcanism). Different petrochemical and geochemical types of rocks have been recognized.

**Keywords:** rhyolite, trachyrhyodacite, graben, stratovolcano, shield volcano.