

А. А. Шиянова, Д. Е. Савельев, Е. Н. Савельева, В. М. Мосейчук<sup>1</sup>

## ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ И ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВУЛКАНИТОВ МАШАКСКОЙ СВИТЫ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Машакская свита впервые выделена А.И. Ивановым в 1934 году на хребте Машак. В разные годы свита изучалась М.Е. Раабен, Н.Ф. Решетниковым, Н.А. Румянцевой, В.М. Сергиевским, Б.В. Чувильным, А.Ф. Ротарем, З.М. Ротарь, П.Н. Швецовым, Ф.А. Ямаевым, В.И. Козловым, В.П. Парначёвым. Вопросы геохимии свиты освещены в недавнее время в работе [Ernst et al., 2006].

В северо-западной части Белорецкого района образования машакской свиты развиты на западных склонах хр. Машак, Ерикташ и Юша. В данной работе рассматриваются отложения хр. Машак. Возраст свиты датируется средним рифеем [Краснобаев и др., 1985; Парначёв и др., 1986].

Машакские отложения с конгломератами в основании несогласно перекрывают сланцы юшинской свиты ( $R_1$ ) и постепенно сменяются кварцитами зигальгинской свиты. Основная часть машакской свиты (около 80%) сложена вулканогенными, и лишь 15–20% — осадочными породами. Вулканогенные породы представлены базальтами, диабазами, риолитами и туфогенными породами основного состава.

Наиболее полный разрез машакской свиты, описанный А.Ф. Ротарем [1974], находится в районе г. Б. Ямантау, где она расчленена на 8 подсвит.

Базальты образуют несколько толщ мощностью от 10–15 до 50–60 м, каждая толща включает в себя от 1 до 3–4 потоков. В краевых частях потоков развиты характерные маломощные (1–2,5 м) горизонты обильно-миндалекаменных и шлаковидных базальтов, иногда лавобрекчий с грубой пластовой и глыбовой отдельностью. Внутренние части потоков, как правило, сложены массивными афировыми базальтами (иногда с редкими миндалинами) с поперечной к напластованию столбчатой отдельностью. В поперечном сечении «столбы» чаще всего представлены удлиненными ромбами, трапециями, реже правильными шестигранными формами.

Базальты с массивной текстурой обладают в основном интерсертальной структурой. В зависимости от степени измененности пород количество плагиоклаза, как и вторичных минералов, колеблется в широких пределах: плагиоклаз 5–50%, хлорит 15–50%, эпидот 0,0n%, амфиболы 0,0n–50%, акцессорные минералы представлены в основном магнетитом и сфеном (до 10%). Плагиоклаз в слабо измененных базальтах встречается преимущественно в виде разноориентированных в породе удлиненных призм длиной до 1,2 мм, шириной до 0,3 мм.

Хлорит тонкочешуйчатый, образует пятна неправильной формы, расположенные в интерстициях между лейстами плагиоклаза. В metabазальтах плагиоклаз замещается соссюритом. Зерна амфиболов могут достигать размеров 0,1–0,3 мм.

В базальтах с миндалекаменной текстурой основная масса также в разной степени изменена. В слабо измененных базальтах основную массу слагают плагиоклаз и клинопироксен. Плагиоклаз представлен призматическзернистыми индивидами (иногда игольчатыми) размером 0,04–0,22 мм. Клинопироксен образует призматические, реже таблитчатые зерна от 0,03 до 0,35 мм и имеет слабый зеленый оттенок. В промежутках между идиоморфными лейстами плагиоклаза, кроме ксеноморфного пироксена, присутствует вулканическое стекло, преимущественно замещенное хлоритом. Рудные минералы в основном замещены лейкоксеном. В базальтах с миндалекаменной текстурой, претерпевших вторичные изменения, тонкозернистая основная масса представлена плагиоклазом, кварцем, хлоритом, иногда соссюритом. Миндалины представляют собой почти правильные окружности диаметром 1–1,5 мм, заполненные хлоритом, иногда кварцем. Рудные минералы образуют редкую вкрапленность (3–5%).

Диабазы обычно обладают массивной текстурой и диабазовой структурой. Преобладающим минералом в них является плагиоклаз (21–60%), содержание остальных минералов колеблется в широких пределах: пироксен (0,0n–45%), оливин (0,0n–10%), хлорит (0,0n–35%). Плагиоклаз развит в виде длиннопризматических зерен, в разной степени измененных. Пироксен образует таблитчатые зерна, а оливин — зерна с частичной огранкой, идиоморфные выделения не характерны. Рудные минералы равномерно распределены в породе (0,0n–10%).

Риолиты в основном имеют порфириковую структуру. Породы состоят из основной массы, вкрапленников и миндалин. Основная масса сложена мелкозернистыми агрегатами кварц-серицитового, кварц-полевошпатового и полевошпатового составов. Вкрапленники представлены полевым шпатом, кварцем. Полевой шпат распространен в виде таблитчатых и короткопризматических выделений (0,1–0,3 мм), в разной степени замещенных серицитом. Рудные минералы присутствуют в незначительных количествах (около 3%).

Положение риолитов в разрезе на рассматриваемой площади до конца не выяснено. В одних

<sup>1</sup> ООО НТПП «Геопоиск», г. Челябинск.

случаях они стратифицированы и залегают в основании машакской свиты, в других — занимают секущее положение по отношению к алевролитам юшинской свиты, образуя субвулканические тела.

Петрогеохимические исследования вулканогенных пород машакской свиты включали в себя определение содержаний петрогенных окислов и ряда элементов — примесей. Определение петрохимического состава проводилось методом силикатного и атомно-абсорбционного анализов в химической лаборатории ИГ УНЦ РАН (аналитики С.А. Ягудина и Н.Г. Христофорова), микроэлементный состав пород изучался нейтронно-активационным методом в ГЕОХИ РАН (аналитик Д.Ю. Сапожников) (табл.).

Анализ распределения  $\text{SiO}_2$  в породах показал, что в базальтоидах содержание кремнезема варьирует в пределах 45–55%, достигая в окварцованных метабазах 61%, незначительно распространены пикробазальты с содержанием  $\text{SiO}_2 < 45\%$ . Кислые эффузивы представлены породами дацит-риолитового состава.

На классификационной диаграмме  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  (рис. 1) все фигуративные точки, характеризующие химические составы кислых эффузивов, группируются вдоль линии, разделяющей поля риолитов и дацитов, что позволяет относить данные породы к риодацитам. Характерной особенностью большинства проб риодацитов является высокое содержание калия (2,0–5,29%) при низких концентрациях натрия (0,05–1,8%). На диаграмме  $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$  (рис. 2) все они попадают в поле высококалийных составов, а по соотношению  $\text{K}_2\text{O}/$

$\text{Na}_2\text{O}$  большая часть проб кислых эффузивов относится к калиевому типу.

Среди основных пород широким развитием пользуются базальты нормального ряда, менее развиты субщелочные разновидности (трахибазальты). На диаграмме  $\text{SiO}_2 - (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)/\text{MgO}$  все фигуративные точки составов базальтов нормального ряда попадают в поле толеитовой серии (рис. 3). Среди главных петрохимических характеристик основных вулканических пород можно выделить высокую железистость ( $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 13\text{--}16\%$ ) и высокое содержание окиси титана (1,03–3,1%).

Составы базальтов машакской свиты на диаграмме  $\text{al}'(\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{MgO} + \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)) - \text{TiO}_2$  образуют относительно компактное поле, по составу близкое к внутриплитным базальтам, частично перекрывающееся с полем составов базальтов континентальных рифтов (рис. 4). По соотношению суммы щелочей к окиси титана базальтоиды машакской свиты практически полностью попадают в поле континентально-рифтогенных базальтов (рис. 5).

Важную роль при сопоставлении вулканических пород различных комплексов и отнесении их к той или иной геодинамической обстановке играют данные о распределении в породах редкоземельных элементов. Нормированные к хондриту содержания РЗЭ можно разделить по группам, согласно выделенным выше петрографическим типам (рис. 6).

Для массивных базальтов характерны значительные вариации содержаний  $\text{La}_N = 7\text{--}60$  ед. и небольшие —  $\text{Lu}_N = 3\text{--}7$  ед., отмечается различная по интенсивности положительная европиевая аномалия ( $\text{Eu}_N = 22\text{--}50$  ед.).

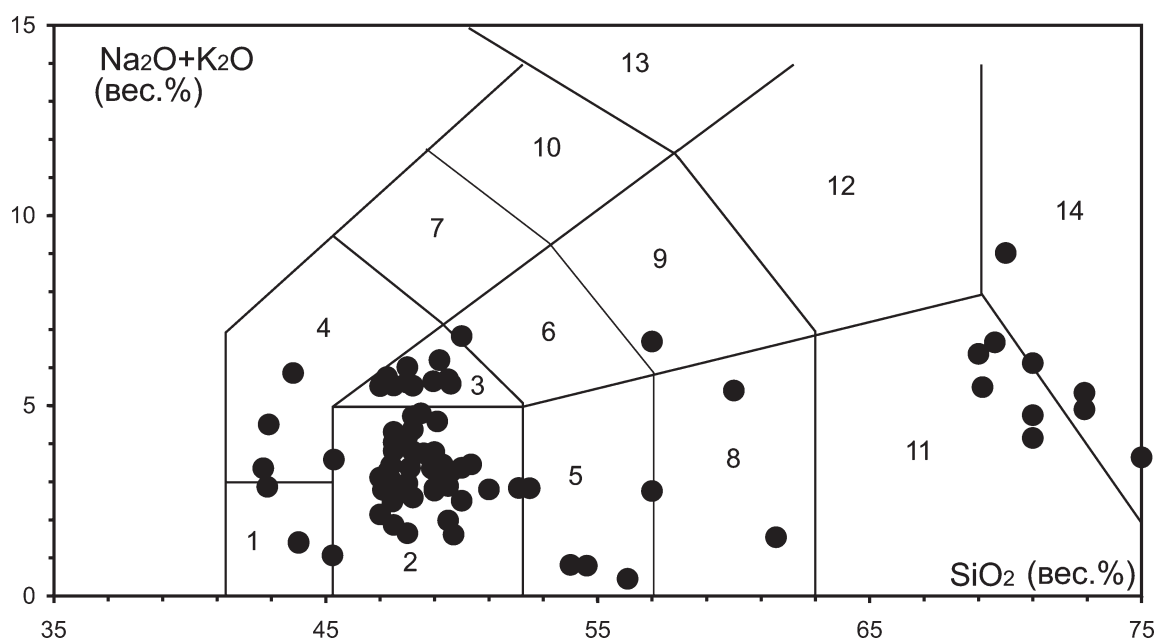


Рис. 1. Классификационная диаграмма  $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  вулканогенных пород машакской свиты

Поля: 1 — пикробазальты; 2 — базальты; 3 — трахибазальты; 4 — тефриты, базаниты; 5 — андезибазальты; 6 — трахиандезибазальты; 7 — фонотефриты; 8 — андезиты; 9 — трахиандезиты; 10 — тефрифонолиты; 11 — дациты; 12 — трахиты, щелочные трахиты; 13 — фонолиты; 14 — риолиты, щелочные риолиты

## Химический состав вулканогенных пород машакской свиты

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
№ обр.	5209	5225	5399	5787	5384-3	5779	5780	7068	5815	5825	5892	5895
SiO <sub>2</sub>	49,18	47,40	49,00	47,50	56,10	50,35	52,50	47,60	49,50	45,25	50,00	49,40
TiO <sub>2</sub>	2,61	2,39	1,46	2,21	2,05	1,46	1,46	2,11	2,08	2,38	1,38	1,38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,40	16,00	13,00	12,90	11,00	12,90	12,90	13,00	14,00	14,30	13,50	14,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,69	4,62	7,78	5,50	8,67	7,08	9,47	5,20	15,00	14,50	13,60	14,00
FeO	2,87	9,84	7,62	8,70	3,23	7,42	5,03	12,24	—	—	—	—
MnO	0,40	0,15	0,14	0,15	0,12	0,13	0,13	0,16	0,18	0,15	0,20	0,17
MgO	6,60	8,40	9,00	8,00	1,60	8,80	9,60	9,00	7,30	12,00	7,80	8,40
CaO	5,68	3,40	7,52	8,56	12,06	6,25	4,08	5,60	10,09	5,64	8,02	9,36
Na <sub>2</sub> O	5,40	2,85	3,38	4,05	0,24	3,30	2,70	3,15	0,24	0,27	0,13	0,13
K <sub>2</sub> O	0,61	0,06	0,38	0,18	0,19	0,09	0,08	0,90	1,93	1,00	2,80	2,70
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,47	0,45	0,14	0,28	0,27	0,25	0,28	0,30	0,06	0,02	0,50	0,50
ппп	2,96	4,78	1,00	1,90	4,50	1,80	2,10	1,36	0,18	3,96	2,24	0,64
Cr	186	112	110	97	46	45	7	158	115	110	65	70
Ni	104	75	34	73	26	46	29	67	83	175	70	70
Co	32	41	34	45	10	39	44	57	70	100	70	82
La	19,20	11,70	3,42	2,70	17,40	4,72	9,09	11,30	19,00	1,24	12,80	14,00
Ce	37,80	13,10	8,10	5,80	37,20	12,90	20,00	26,20	38,00	4,90	28,00	30,20
Pr	4,70	0,85	1,10	0,72	4,98	1,97	2,55	3,53	4,49	1,09	3,67	3,80
Nd	20,30	1,91	5,06	3,23	22,40	9,98	11,20	17,10	18,60	8,40	16,20	16,80
Sm	5,82	0,27	1,56	0,91	6,74	3,48	3,26	5,21	4,79	4,08	4,88	4,73
Eu	3,94	2,44	1,78	2,97	1,16	1,93	2,25	0,88	0,88	0,44	0,35	0,44
Gd	6,00	0,43	2,21	1,53	5,00	4,45	4,00	6,90	5,98	5,99	6,98	6,90
Tb	0,84	0,08	0,34	0,26	1,35	0,63	0,54	1,02	0,91	0,92	1,09	1,12
Dy	4,47	0,51	2,08	1,68	7,97	3,50	2,79	5,86	5,30	5,48	6,52	7,00
Ho	0,88	0,14	0,46	0,42	1,74	0,72	0,56	1,26	1,20	1,23	1,49	1,64
Er	2,20	0,44	1,33	1,30	4,83	1,88	1,36	3,38	3,32	3,50	4,23	4,78
Tu	0,28	0,07	0,20	0,21	0,68	0,26	0,18	0,48	0,49	0,51	0,62	0,71
Yb	1,36	0,49	1,16	1,28	3,88	1,31	0,89	2,55	2,72	2,78	3,52	4,30
Lu	0,20	0,09	0,19	0,23	0,60	0,20	0,13	0,41	0,44	0,47	0,58	0,70

№ п/п	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
№ обр.	5903	5915-1	5949	5969	5229	5254	5384-7	5384-8	7055	7070-5	7110	5384-1
SiO <sub>2</sub>	48,20	51,00	49,30	60,00	47,50	48,00	49,50	49,60	49,70	42,85	47,00	54,00
TiO <sub>2</sub>	1,90	1,62	1,98	1,98	2,33	1,33	2,59	2,39	2,21	2,51	2,42	1,69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,00	14,00	15,00	14,00	15,60	15,10	12,30	12,30	12,70	12,30	13,50	11,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,10	13,30	14,60	7,00	3,23	8,51	5,50	6,40	5,68	13,35	6,32	11,70
FeO	—	—	—	—	10,77	5,89	10,05	9,02	9,34	7,90	10,27	2,02
MnO	0,19	0,13	0,02	0,02	0,17	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,14	0,12
MgO	9,00	9,00	3,80	4,80	8,00	8,20	10,00	9,40	8,60	12,40	8,20	3,20
CaO	7,90	6,25	11,00	5,70	4,26	8,02	4,26	4,20	9,00	2,27	9,06	12,06
Na <sub>2</sub> O	0,20	0,16	0,24	0,07	3,38	2,70	2,16	2,16	1,35	2,70	1,92	0,54
K <sub>2</sub> O	3,37	2,70	3,37	4,84	0,50	0,21	0,66	1,00	0,25	0,08	0,21	0,25
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,00	0,05	0,06	0,50	0,33	0,13	0,30	0,30	0,36	0,33	0,34	0,28
ппп	0,38	2,22	0,90	2,00	4,50	1,74	2,04	2,78	0,10	3,34	1,00	3,34
Cr	210	140	166	64	100	116	120	180	116	66	58	42
Ni	140	94	100	67	72	61	70	66	56	88	43	40
Co	69	83	84	30	75	46	44	45	41	77	40	13
La	9,87	12,30	16,70	1,82	5,88	5,74	14,00	13,00	10,90	23,90	6,80	21,80
Ce	25,50	27,90	37,70	4,97	13,70	13,60	34,60	31,10	25,20	49,80	17,00	45,10
Pr	3,80	3,70	5,01	0,78	1,88	1,80	4,87	4,23	3,48	6,06	2,62	5,88
Nd	20,00	17,30	22,60	4,24	8,42	8,79	23,20	20,40	16,70	25,80	13,80	25,20
Sm	6,78	5,08	6,89	1,54	2,56	2,73	7,63	6,30	5,03	7,25	4,80	7,20
Eu	0,22	1,16	0,44	0,04	0,62	0,67	0,91	2,08	0,65	0,54	3,06	1,38
Gd	9,82	7,98	9,50	2,31	3,92	4,21	9,50	7,53	5,53	8,10	5,36	8,97
Tb	1,57	1,31	1,49	0,37	0,60	0,63	1,37	1,09	0,78	1,13	0,75	1,27
Dy	9,50	7,98	8,90	2,33	3,50	3,98	7,68	5,90	4,18	6,00	4,10	7,02
Ho	2,22	1,85	1,97	0,53	0,78	0,88	1,61	1,21	0,81	1,21	0,81	1,47
Er	6,31	5,48	5,52	1,55	2,23	2,50	4,22	3,07	2,02	3,02	2,04	3,93
Tu	0,98	0,83	0,82	0,24	0,34	0,39	0,58	0,43	0,27	0,42	0,28	0,53
Yb	5,49	4,90	4,54	1,40	1,77	1,99	3,00	1,99	1,29	1,89	1,37	2,75
Lu	0,95	0,84	0,75	0,25	0,31	0,36	0,46	0,33	0,18	0,30	0,20	0,43

№ п/п	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
№ обр.	5908	5252	5295	5383	5397	5405	5837	5296	5401	7068-2	7082
SiO <sub>2</sub>	48,60	61,55	48,10	57,00	48,20	42,70	47,00	49,00	49,50	47,00	47,30
TiO <sub>2</sub>	1,80	0,88	2,14	1,59	1,96	2,67	3,10	2,14	2,53	2,82	2,66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,00	8,00	13,90	10,40	16,50	18,70	13,00	14,00	14,00	13,00	13,50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,00	6,01	5,46	9,18	7,20	2,20	17,60	5,70	3,71	6,70	6,58
FeO	—	5,39	11,34	9,12	8,40	14,72	—	10,05	8,19	10,75	9,12
MnO	0,18	0,11	0,13	0,12	0,14	0,15	0,11	0,14	0,14	0,14	0,13
MgO	6,80	6,00	7,60	6,80	10,00	8,40	7,40	9,00	9,00	7,20	8,00
CaO	9,37	5,68	5,69	0,28	0,56	2,42	4,20	4,26	2,82	5,60	8,56
Na <sub>2</sub> O	2,70	1,35	2,80	0,54	5,40	2,70	1,74	2,70	5,40	5,40	2,70
K <sub>2</sub> O	1,00	0,12	0,50	2,15	0,05	0,50	1,25	0,54	0,06	0,06	0,56
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,20	0,28	0,30	0,28	0,17	0,13	0,65	0,28	0,45	0,33	0,27
ппп	1,36	4,38	1,88	1,86	1,52	3,86	4,24	2,30	4,74	1,34	0,30
Cr	175	64	142	90	130	156	40	173	186	67	40
Ni	83	67	50	36	46	122	25	70	77	43	34
Co	75	30	49	50	58	58	66	46	45	44	42
La	13,60	1,63	6,14	1,50	0,62	2,37	38,20	5,66	7,87	17,00	8,35
Ce	32,40	2,24	15,00	3,68	1,08	3,90	80,30	15,10	20,20	36,20	18,90
Pr	4,34	0,19	2,09	0,55	0,12	0,40	9,65	2,25	3,13	4,93	2,52
Nd	20,50	0,53	9,80	2,76	0,39	1,40	40,00	11,80	16,90	22,30	11,50
Sm	6,31	0,10	3,03	0,91	0,09	0,34	10,90	4,03	5,88	6,75	3,47
Eu	1,57	3,88	2,42	0,13	0,21	2,77	0,59	2,98	4,22	2,02	3,38
Gd	9,25	0,18	4,47	0,50	0,21	0,54	15,10	5,60	6,27	6,23	3,46
Tb	1,47	0,04	0,67	0,25	0,05	0,10	2,47	0,87	0,87	0,80	0,51
Dy	8,90	0,27	4,13	1,65	0,43	0,68	15,40	5,07	4,50	3,97	2,91
Ho	2,01	0,08	0,91	0,41	0,15	0,18	3,90	1,18	0,89	0,69	0,63
Er	5,90	0,27	2,60	1,29	0,60	0,57	11,00	3,25	2,18	1,50	1,70
Tu	0,88	0,05	0,40	0,21	0,14	0,10	1,74	0,48	0,28	0,18	0,25
Yb	4,99	0,38	2,00	1,28	1,16	0,63	10,20	2,70	1,33	0,77	1,30
Lu	0,85	0,08	0,37	0,23	0,28	0,12	1,73	0,44	0,19	0,10	0,21

№ п/п	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
№ обр.	7082-5	5224-1	5960	5964	5289-1	5289-2	5294	5773	7068-7	7070	5926
SiO <sub>2</sub>	47,10	47,25	50,00	47,50	69,15	71,00	71,00	72,90	72,90	69,00	70,00
TiO <sub>2</sub>	2,32	2,39	1,92	1,92	0,35	0,33	0,33	0,54	0,74	0,55	0,54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,50	16,40	14,50	14,00	14,00	15,30	13,30	10,30	10,40	12,30	13,80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,74	4,16	15,30	15,20	4,21	3,70	3,30	2,20	2,41	4,00	3,70
FeO	7,76	7,19	—	—	0,50	1,07	1,44	1,58	1,43	1,79	—
MnO	0,14	4,54	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03
MgO	8,80	8,00	5,30	6,40	2,60	1,80	1,80	5,20	4,80	4,80	1,00
CaO	8,30	0,19	5,68	8,00	0,85	0,56	0,85	0,44	0,56	0,56	1,70
Na <sub>2</sub> O	2,12	0,12	6,75	5,40	0,05	0,10	0,08	0,27	1,08	1,35	4,00
K <sub>2</sub> O	0,60	5,40	0,06	0,06	5,29	3,98	4,53	5,00	3,75	5,00	5,00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,16	0,27	0,16	0,22	0,30	0,35	0,32	0,17	0,39	0,35	0,07
ппп	2,72	4,36	0,62	1,86	2,70	1,60	2,64	1,12	0,80	0,62	0,64
Cr	220	140	81	125	10	440	10	142	10	260	66
Ni	78	84	65	94	8	168	26	67	12	83	200
Co	38	48	69	64	6	13	<1	<1	3	8	4
La	11,80	9,59	6,61	15,80	60,60	199,50	220,40	185,90	87,70	185,90	84,60
Ce	27,40	23,80	16,70	36,90	129,00	160,00	318,00	281,00	155,00	272,00	161,60
Pr	3,67	3,33	2,59	5,12	15,90	7,65	26,80	25,30	15,90	23,30	18,10
Nd	17,90	16,60	13,40	24,50	67,70	12,00	79,20	80,00	55,00	71,40	69,80
Sm	5,33	5,24	4,75	7,62	18,70	1,20	15,30	17,20	12,70	14,30	17,20
Eu	1,18	0,89	0,32	0,27	4,86	3,53	3,92	5,57	1,73	4,13	1,05
Gd	5,42	5,90	7,50	10,30	20,70	1,88	15,30	16,90	15,30	13,50	22,10
Tb	0,72	0,80	1,23	1,60	2,83	0,36	2,23	2,20	2,27	1,78	3,47
Dy	3,82	4,10	7,90	9,10	15,10	2,60	12,10	11,00	13,30	9,03	20,30
Ho	0,71	0,78	1,86	2,00	3,02	0,69	2,49	2,03	2,94	1,76	4,60
Er	1,70	1,88	5,57	5,50	7,50	2,41	6,50	5,00	7,93	4,30	13,10
Tu	0,21	0,24	0,89	0,80	1,00	0,43	0,89	0,61	1,16	0,54	1,97
Yb	0,99	1,13	5,13	4,40	4,96	2,93	4,52	2,96	6,01	2,63	11,30
Lu	0,14	0,16	0,93	0,67	0,70	0,58	0,68	0,42	0,98	0,38	1,76

Примечание: 1–4 — базальты массивные, 5–17 — базальты миндалекаменные, 18–26 — метабазальты массивные, 27–32 — метабазальты миндалекаменные, 33–37 — диабазы, 37–39 — долериты, 40–46 — риолиты.

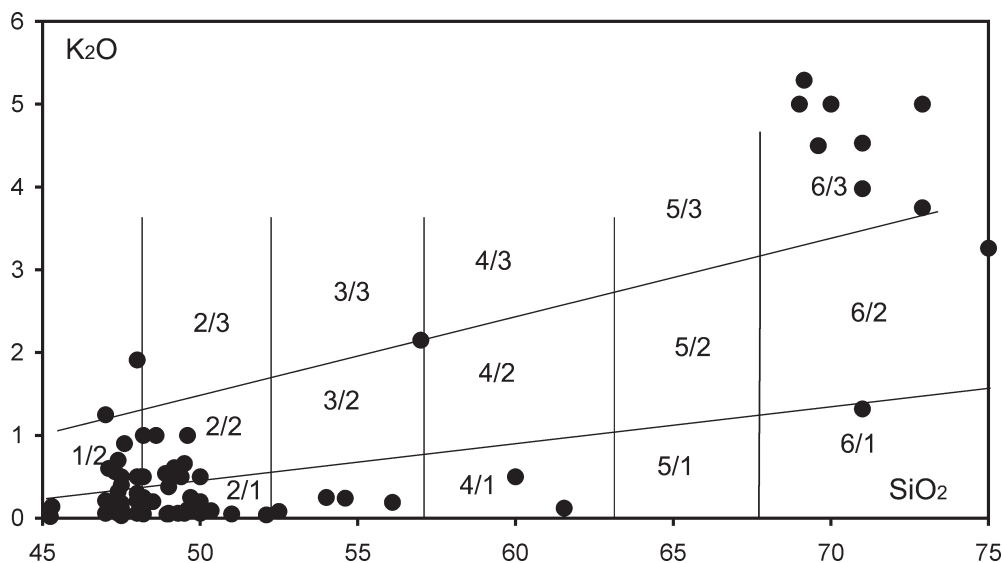


Рис. 2. Диаграмма  $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$  для пород машакской свиты

Поля в знаменателе: 1 — толеитовые, 2 — известково-щелочные, 3 — высококальциевые; в числителе: 1 — пикробазальты, 2 — базальты, 3 — андезибазальты, 5 — дациты, 6 — риолиты

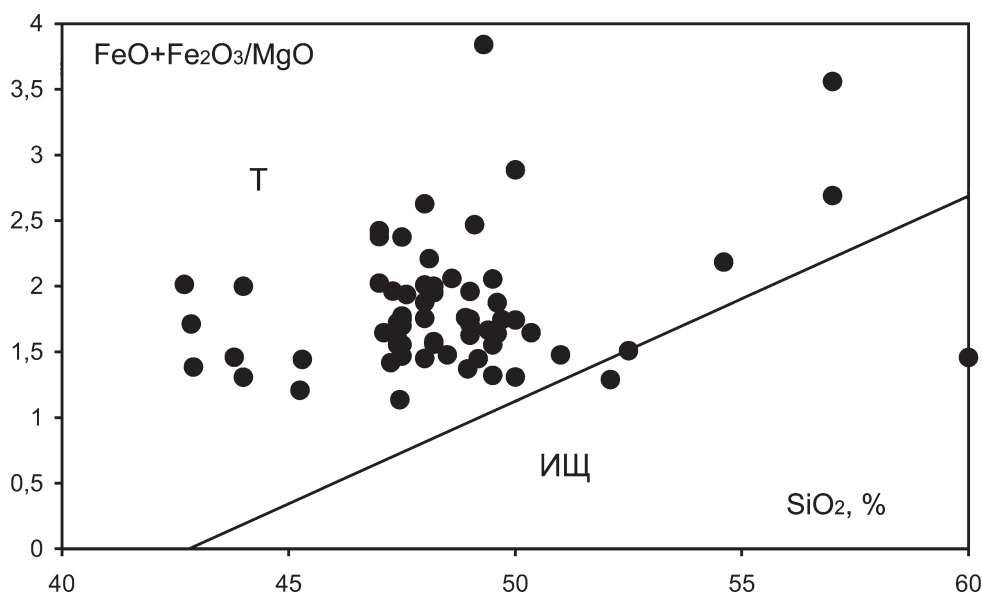


Рис. 3. Диаграмма  $\text{SiO}_2 - \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MgO}$  для пород машакской свиты

Метабазальты характеризуются незначительным преобладанием легких РЗЭ над тяжелыми и широкими вариациями содержаний  $\text{La}_N = 7-70$  ед.,  $\text{Lu}_N = 5-25$  ед. при незначительной отрицательной европиевой аномалии на графике хондрит-нормированных значений.

В базальтах с миндалекаменной текстурой наблюдается постепенное уменьшение хондрит-нормированных значений от легких лантаноидов к тяжелым ( $\text{La}_N = 4-55$  ед.,  $\text{Lu}_N = 4-27$  ед.), для большинства проб характерна различная по интенсивности отрицательная европиевая аномалия. Метабазальты с миндалекаменной текстурой характеризуются примерно равными значениями легких

и тяжелых РЗЭ, содержания  $\text{La}_N = 2-100$  ед.,  $\text{Lu}_N = 2-50$  ед., в большинстве проб зафиксирована различная по интенсивности положительная европиевая аномалия.

Для диабазов характерно преобладание легких РЗЭ над тяжелыми со следующими значениями:  $\text{La}_N = 13-50$  ед.,  $\text{Lu}_N = 3-13$  ед. при положительной аномалии  $\text{Eu}_N = 25-52$  ед. В долеритах встречаются примерно равные хондрит-нормированные значения легких и тяжелых РЗЭ на уровне 5-40 ед. при различной по интенсивности отрицательной европиевой аномалии.

Риолиты характеризуются устойчиво высокими значениями суммы РЗЭ при значительном



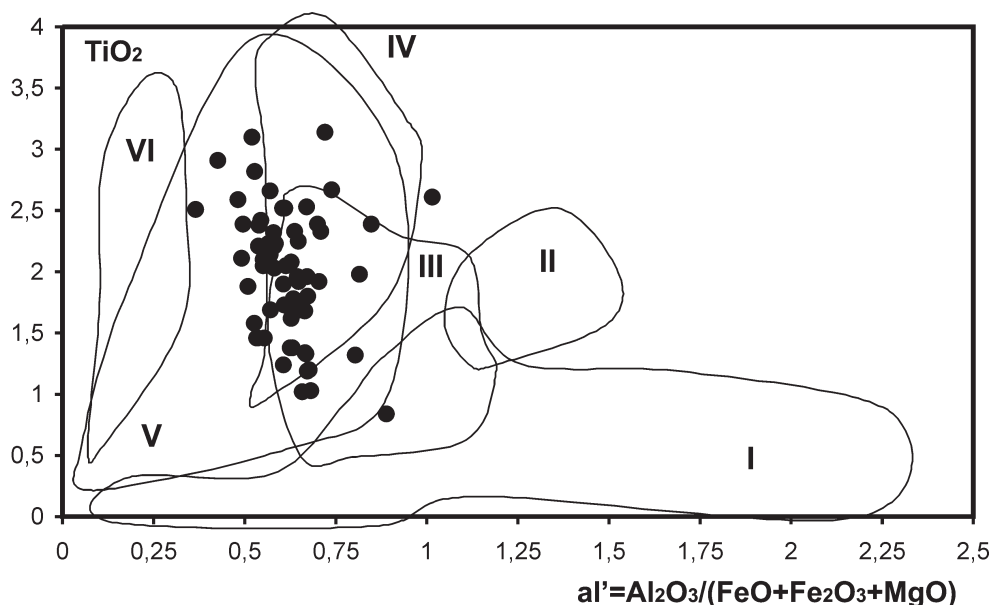


Рис. 4. Диаграмма  $al' - TiO_2$  для базальтов машакской свиты

Римскими цифрами показаны поля составов базальтов: I — глубоководных желобов; II — эпирогенных континентальных рифтов; III — срединно-океанических рифтов; IV — континентальных рифтов; V — океанических островов, океанических плит, траппов; VI — пикробазальты континентальных рифтов, траппов

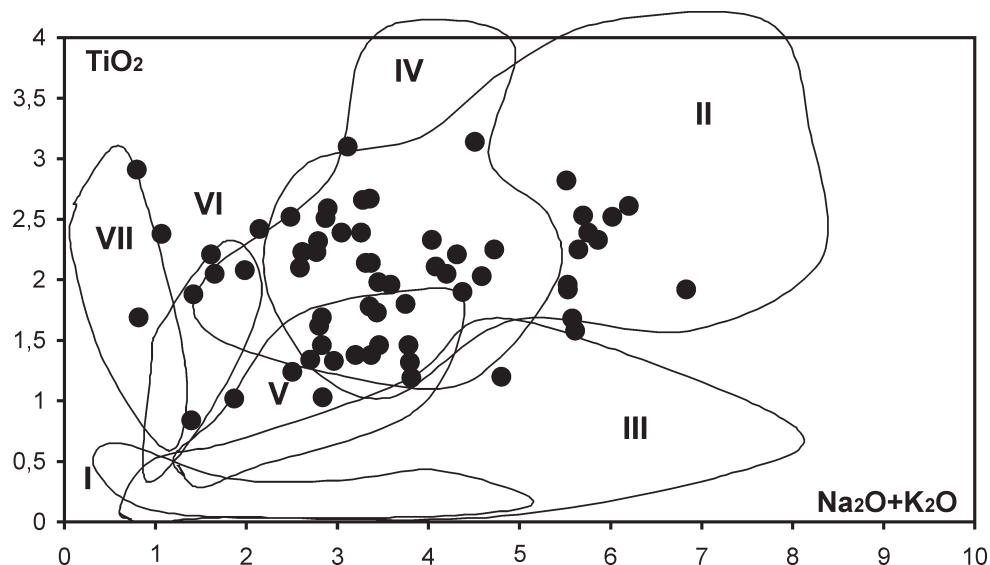


Рис. 5. Диаграмма  $K_2O + Na_2O - TiO_2$  для базальтов машакской свиты

Римскими цифрами показаны поля составов базальтов: I — глубоководных желобов; II — континентальных рифтов; III — островных дуг; IV — океанических островов, океанических плит; V — срединно-океанических хребтов; VI—VII — пикробазальты траппов (VI) и континентальных рифтов (VII)

преобладании легких лантаноидов над тяжелыми. Значения  $La_N$  составляют в них 200–900 ед.,  $Sm_N = 70-100$  ед.,  $Lu_N = 10-70$  ед.

Изучение вулканогенных пород северной части Ямантауского антиклинория позволило выявить следующие особенности их состава.

1. Среди вулканитов исследованной площади в значительной степени преобладают базальты, меньшим распространением пользуются риодациты, переходные разности пород практически отсутствуют.

2. По петрохимическим особенностям большая часть вулканогенных пород основного состава относится к типичным представителям толеитовой серии, менее развиты трахибазальты. В кислых эффузивах постоянно фиксируется высокое содержание  $K_2O$  (до 4–5%) на фоне низких концентраций  $Na_2O$  (0,05–1,8%).

3. Большинство образцов базальтов характеризуется высокими содержаниями редкоземельных элементов при ведущей роли легких лантаноидов

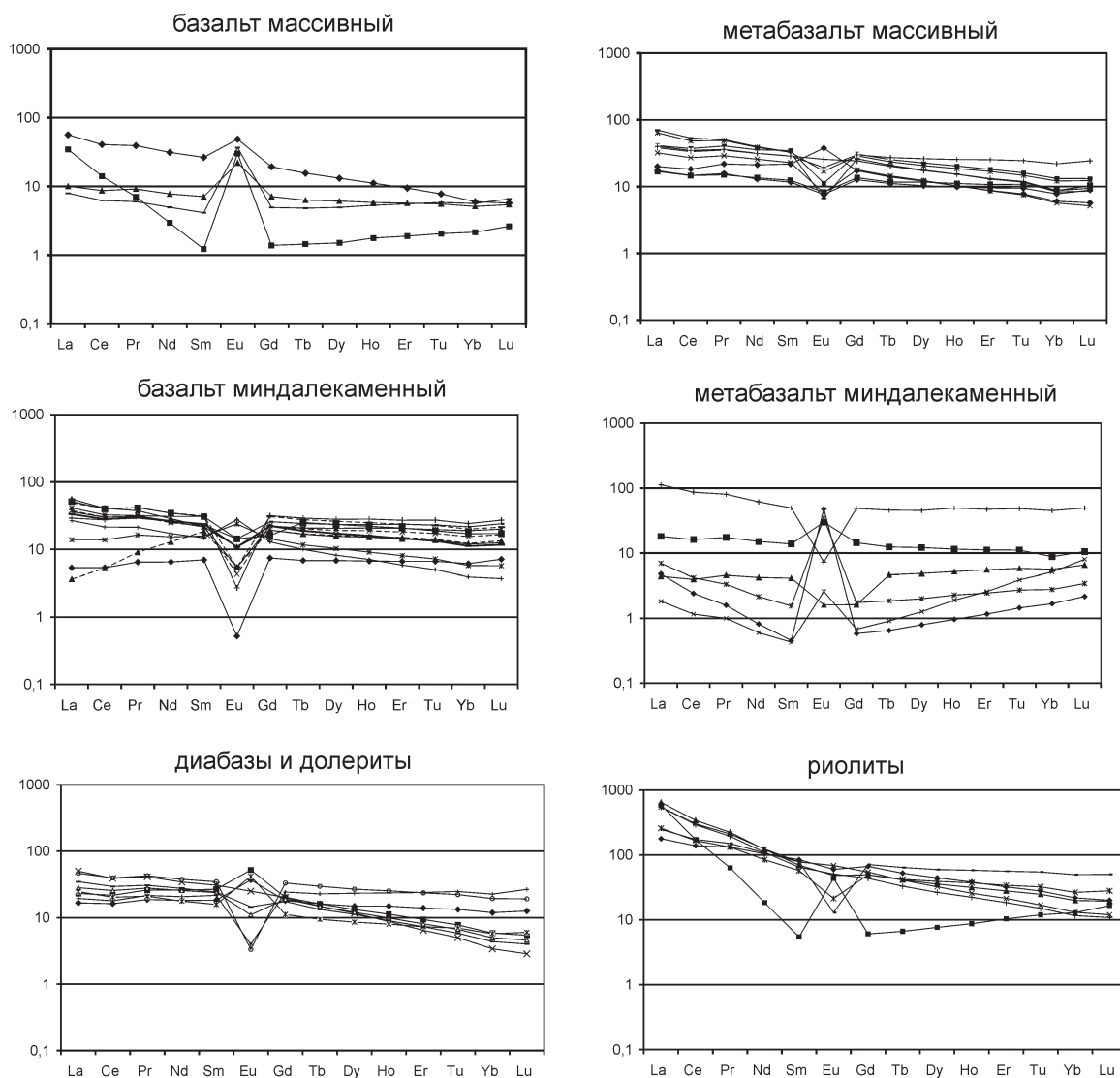


Рис. 6. Типы распределения редкоземельных элементов в вулканогенных породах машакской свиты, нормированных к хондриту

( $La_N > Sm_N > Lu_N$ ). Наибольшие вариации хондрит-нормированных значений отмечены в массивных базальтах и миндалекаменных метабазах. В первом случае они связаны скорее всего с разделением редкоземельных элементов между кристаллизующимися фазами и расплавом в процессе кристаллизационной дифференциации, а во втором — с перераспределением РЗЭ в результате вторичных изменений пород в постмагматическую стадию. Риолиты заметно обогащены легкими лантаноидами по отношению к тяжелым.

4. Контрастный состав пород машакского комплекса, стабильные в целом спектры РЗЭ<sub>N</sub> с устойчивым преобладанием легких лантаноидов над тяжелыми, высокие содержания  $TiO_2$  в базальтах позволяют отнести изученные вулканы к риолит-базальтовой формации и предположить, что формирование их происходило в обстановке континентального рифтогенеза.

#### Литература:

- Краснобаев А.А., Бибикова Е.В., Степанов А.И. и др.** Возраст эффузивов машакской свиты и проблема радиологической границы нижний – средний рифей // Изотопное датирование процессов вулканизма и осадкообразования. М.: Наука, 1985. С. 118–124.
- Парначев В.П., Ротарь А.Ф., Ротарь З.М.** Среднерифейская вулканогенно-осадочная ассоциация Башкирского мегантиклинория. Свердловск: УНЦАН СССР, 1986. 103 с.
- Ротарь А.Ф.** Машакская свита (рифей) на Южном Урале // Сов. геология. 1974. № 4. С. 116–124.
- Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Hamilton M.** Geochemical characterization of Precambrian magmatic suites of the southeastern margin of the East European Craton, Southern Urals, Russian // Геологический сборник №5 / ИГ УНЦ РАН. Уфа, 2006. С. 119–161.