

© Д. чл. УАГН Г. И. Самаркин, Е. Я. Самаркина

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ
И ПЕТРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
РАНЕКАМЕННОУГОЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗОНОСНЫХ
ВУЛКАНИЧЕСКИХ СЕРИЙ СЕВЕРНОГО И ЮЖНОГО
СЕКМЕНТОВ ВАЛЕРЬЯНОВСКОГО ПОЯСА (УРАЛ)**

Валерьяновский вулканический пояс входит в состав наложенного Тюменско-Кустанайского прогиба, выполненного мощными толщами раннекаменноугольных осадочных, вулканогенно-осадочных и вулканогенных образований. В составе прогиба пояс занимает эпиконтинентальную рифтогенную структуру, развитие которой началось в конце франского начале фаменского веков и продолжалось до башкирской эпохи включительно [15, 36, 38]. Максимальный разрыв земной коры здесь произошел в среднем визе и сопровождался интенсивными вулканическими извержениями. Вулканическая деятельность рифтогенной структуры была завершена в башкирскую эпоху.

По Валерьяновскому вулканическому поясу проведены обширные исследования по стратиграфии осадочных и вулканогенно-осадочных отложений, тектонике, развитию вулканических и интрузивных комплексов (формаций) и петрохимическим особенностям слагающих их пород, металлогении, геологии железорудных месторождений и другим вопросам.

Несмотря на длительное изучение, до сих пор нет единства взглядов на геодинамическое развитие пояса и формационную принадлежность слагающих его вулканических пород. Часть исследователей считают Валерьяновский пояс аналогом вулканических поясов развитых островных дуг, а все его вулканические образования относят к единой известково-щелочной андезитовой [17, 19, 21, 22] или андезит-базальтовой формации [10, 11, 27]. Надо сказать, что большая часть этих выводов основана на изучении вулканических пород южного сегмента. При этом даже в обобщающих работах по петрохимии вулканических пород Валерьяновского пояса [10, 28] не приводятся сведений о давно известных в северном [40] и южном [3, стр. 59] сегментах высококалийных вулканиках. В большинстве печатных работ указан-

резко преобладают андезитовые и андезибазальтовые порфириды [19, 21 и др.]. При этом к группе андезибазальтовых порфиритов часто относят породы с содержанием $\text{SiO}_2 = 45\text{—}53\%$, а андезитов — $\text{SiO}_2 = 53\text{—}57\%$ [6, 7, 11, 12, 19 и др.]. В то время как согласно давно принятых химических классификаций вулканических пород эти породы должны быть отнесены к базальтам ($\text{SiO}_2 = 44\text{—}53\%$) и андезибазальтам ($\text{SiO}_2 = 53\text{—}57\%$) [1, 44, 47]. Указанная неточность в классификации вулканических пород позволяла этим исследователям существенно завышать масштабы развития андезитов в каменноугольном вулканическом цикле Валерьяновского пояса, при этом выделенную андезитовую (андезит-базальтовую) формацию сопоставлять с аналогичными формациями островных дуг, а сам пояс считать аналогом развитой островной дуги [10, 14, 28 и др.]. На основе изучения петрохимического и геохимического состава вулкаников северного сегмента нами была показана необоснованность этих представлений. Доказано, что вулканизм Валерьяновского пояса формировался в рифтогенных условиях и характеризуется закономерной сменой состава от толеитовой к известково-щелочной и субщелочной серии [15, 35, 36, 39].

Указанные выше разногласия о геодинамике развития и сериальной (формационной) принадлежности вулканических пород пояса дали нам основание для проведения сравнения геологических и петрохимических особенностей формирования вулканических серий северного и южного сегментов. Принятая граница между северным и южным сегментами условная, проводится на основании исследований [6, 7, 8] по северной границе Алешинского рудного района. Таким образом, южный сегмент включает в себя вулканиды от Алешинского рудного района на севере до Бенкалинского рудного района на юге. В нем сосредоточены наиболее крупные по запасам железорудные месторождения (Соколовское, Сарбайское, Качар и др.). Северный сегмент вулканического пояса расположен к северу от Алешинского рудного района, характеризуется преобладающим развитием средних и мелких железорудных месторождений [11].

Краткая сравнительная характеристика геологических условий формирования осадочных пород, фациального и петрохимического составов вулкаников северного и южного сегментов

Как было сказано выше, начало осадконакопления в Валерьяновском поясе связано с условиями начинающегося рифтинга при постоянном утонении коры с фамена по среднее виле включитель-

но, т. е. до максимального разрыва земной коры, сопровождавшегося мощными излияниями базальтов. При этом до конца визе седиментогенез происходил в субаквальных условиях при значительном отложении терригенно-карбонатных осадков [3, 8, 21, 34]. Геологические разрезы терригенно-карбонатных отложений северного и южного сегментов, несмотря на разногласия в названии толщ, в целом близки между собой (табл. 1). В отличие от южного сегмента, где терригенно-карбонатный разрез начинается с нижнего турне, так как более древние отложения скважинами не вскрыты [8], в северном сегменте сходные с ними отложения начинаются с фаменского века. По данным [34] здесь терригенно-карбонатные отложения фамена согласно перекрываются аналогичными отложениями нижнего турне. В обоих сегментах непрерывный разрез терригенно-карбонатных отложений наблюдается от нижнего турне до верхнего визе включительно. Начиная с позднего визе серпухова как в южном [8 и др.], так и в северном [34] сегментах субаквальный режим осадконакопления постепенно сменяется на субаэральный, в связи с чем в разрезах появляются красноцветные осадочные отложения (матвеевская свита в северном и андреевская в южном сегментах). В обоих сегментах вулканогенно-осадочный разрез раннего карбона завершается субаэральными красноцветными отложениями башкирской эпохи. В южном сегменте в основании башкирских отложений отмечается перерыв в осадконакоплении, что подтверждается залеганием красноцветной толщи среднего карбона на размытых нижнекаменноугольных отложениях [8 и др.].

Таким образом, отчетливо выделяется два этапа в развитии Валерьяновского пояса — этап растяжения $D_3fm-C_1v_3$ и этап сжатия C_1s-C_2b . В северном сегменте выделенные этапы соответственно сопровождаются вулканическими сериями валерьяновского ($C_1v_1-v_3$) и качарского (C_1s-C_2b) комплексов. Для удобства сравнения аналогичные комплексы выделены в составе южного сегмента (табл. 1). При этом для южного сегмента, ввиду слабого обоснования возрастной последовательности развития вулканитов раннего этапа, дается единая базальт-андезитовая серия без разделения на качарский и валерьяновский комплексы (табл. 1).

Как видно из таблицы 1, интенсивное проявление каменноугольного вулканического цикла в северном сегменте относится к раннему, а в южном — к среднему визе. Такое запаздывание в развитии вулканизма объясняется неодновременностью раскрытия рифта (разрыва земной коры) в северном и южном сегментах. Если в северном сегменте в раннем визе (сарбайская свита) большая часть мощности отложений занята базальтоидами и их туфами [34],

**Сравнительная характеристика состава и особенностей развития
вулканических серий северного и южного сегментов Валерьяновского пояса**

| Северный сегмент | Южный сегмент |
|---|---|
| <i>1. Общий разрез вулканогенно-осадочной толщи карбона</i> | |
| <p>В основании разреза расположены терригенно-карбонатные и терригенные отложения D_3fm-C_1t. На них согласно и последовательно залегают терригенно-карбонатные отложения сарбайской C_{1v_1} и соколовской $C_{1v_{2-3}}$ свит, переслаивающиеся с известково-щелочными вулканогенными образованиями. Вулканогенно-осадочные отложения относятся к валерьяновской серии $C_{1v_{1-3}}$ (BC). BC согласно перекрывается субэральными, местами красноцветными отложениями качарской серии $C_{1s}-C_{2b}$, представленной субщелочными базальтоидами и их туфами, переслаивающимися с карбонатно-терригенными отложениями матвеевской свиты C_{1s} (аналог андреевской свиты в южном сегменте). Завершаются вулканогенно-осадочные отложения карбона алабугской свитой C_{2b} (аналог викторовской свиты в южном сегменте) [2, 34].</p> | <p>В основании разреза расположены терригенно-карбонатные отложения $C_{1t_1}-v_1$. На них согласно залегают вулканогенно-осадочные отложения валерьяновской толщи $C_{1v_2}-s$ (BT), представленной известково-щелочными базальтоидами и их туфами, переслаивающимися с терригенно-карбонатными осадками сарбайской C_{1v_2}, соколовской $C_{1v_{2-3}}$, куржункульской C_{1v_3} свит. В верхней части разреза BT появляются покровы гематитизированных и субщелочных базальтоидов и их туфов, переслаивающихся с красноцветными осадочными отложениями андреевской свиты C_{1s}. Завершаются вулканогенно-осадочные отложения карбона вулканогенно-терригенными красноцветными отложениями викторовской свиты C_{1b}, залегающей с разрывом на отложениях нижнего карбона [2, 8, 19, 25, 33].</p> |
| <i>2. Фашии</i> | |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Эффузивные 2. Пирокластические (около 50 % от вулканических пород) 3. Субвулканические | <ol style="list-style-type: none"> 1. Эффузивные 2. Пирокластические (более 50 % от вулканических пород) 3. Субвулканические |
| <i>3. Процентный состав вулканитов</i> | |
| <p>Базальты — 51,1 (от 409 хим. анализов) Андезибазальты — 22,5 Андезиты — 18,6 Дациты — 6,6 Риодациты, риолиты — 1,2</p> | <p>Базальты — 56,6 (от 189 хим. анализов)^x Андезибазальты — 16,4 Андезиты — 17,5 Дациты — 4,2 Риодациты, риолиты — 5,3</p> |
| <i>4. Облик вулканитов</i> | |
| <p>Преобладает лейкократовый порфировидный</p> | <p>Преобладает лейкократовый порфировидный</p> |

| Северный сегмент | Южный сегмент | |
|---|--|--------|
| <i>5. Преобладающие вторичные изменения вулканитов</i> | | |
| Альбитизация, скаполитизация, актинолитизация, хлоритизация, осветление вулканитов в рудных полях | Альбитизация, скаполитизация, актинолитизация, хлоритизация, осветление вулканитов в рудных полях. | |
| <i>6. Комплексы, серии</i> | | |
| <u>Валерьяновский комплекс</u> C_1v_{1-3} | <u>Валерьяновский и качарский комплексы (не разделенные)</u> C_1v_2-s | |
| 1. Толейтовая базальт-андезит-дацитовая | 1. Низкокаалиевая (высоконатриевая) базальт-андезитовая | |
| 2. Низкокаалиевая (высоконатриевая) базальт-андезит-дацитовая | 2. Среднекаалиевые базальт-андезитовая и дацит-риолитовая | |
| 3. Среднекаалиевая базальт-андезитовая | | |
| <u>Качарский комплекс</u> C_1s-C_2b | <u>Качарский комплекс</u> C_1s-C_2b | |
| 3. Среднекаалиевая базальт-андезитовая | 3. Высококаалиевые трахибазальт-трахиандезитовая и дацит-риолитовая | |
| 4. Высококаалиевая трахибазальт-трахиандезитовая | 4. Трахибазальт(шошонит)-трахитовая | |
| 5. Шошонит-латит-трахитовая | 5. Кератофир-кварцальбитофировая | |
| Диабаз-долеритовая P—T (?) | Диабаз-долеритовая P—T (?) | |
| <i>7. Вариации коэффициентов средних химических составов базальтов</i> ($SiO_2 = 45-53\%$) | | |
| Низкокаалиевой (высоконатриевой) серии (базальт-андезит-дацитовой) | | |
| Железистость | 70,2 % | 62,0 % |
| Глиноземистость | 1,24 | 1,19 |
| Агпайтность | 0,42 | 0,52 |
| Известковистость | 61,3 % | 59,9 % |
| Среднекаалиевой серии (базальт-андезитовой) | | |
| Железистость | 67,5 %* | 61,7 % |
| Глиноземистость | 1,12* | 1,21 |
| Агпайтность | 0,46* | 0,48 |
| Известковистость | 57,0 %* | 58,5 % |
| Высококаалиевой серии (трахибазальт-трахиандезитовой) | | |
| Железистость | 70,0 % | 60,2 % |
| Глиноземистость | 1,18 | 1,33 |
| Агпайтность | 0,48 | 0,54 |
| Известковистость | 50,1 % | 45,4 % |

Примечание* — коэффициенты рассчитаны для среднего состава базальтов валерьяновского и качарского комплексов. Способы расчета коэффициентов в табл. 2.* — без химических анализов пород кератофир-кварцальбитофировой серии.

то в южном сегменте в это время отмечаются лишь маломощные прослой туфопесчаников и литокластических туфов [8], т. е. разрыв земной коры здесь в раннем висте только начинается.

Среди вулканических пород северного и южного сегментов установлены эффузивные, пирокластические и субвулканические фации. Из них в северном сегменте установлено близкое по объему развитие лав и пирокластов [34], в южном — пирокласты преобладают над лавами [19], т. е. в южном сегменте вулканические извержения сопровождались большой эксплозивной деятельностью. Высокая эксплозивность вулканических извержений в южном сегменте позволила сопоставлять их с извержениями островодужных вулканов центрального типа [19].

В северном и южном сегментах в составе вулканических пород установлено почти одинаковое процентное содержание базальтов и андезибазальтов (около 74 % в северном и 73 % в южном сегменте) и близкое содержание андезитов (табл. 1, рис. 1). Процентное содержание кислых вулканических пород слабо увеличивается от северного к южному сегменту (табл. 1, рис. 1). Среди пород этой группы в северном сегменте преобладают дациты, в южном — риолиты, что, вероятно, обусловлено влиянием увеличения в этом направлении мощности сиалической коры, отмеченное многими исследователями.

Среди вулканических пород в обоих сегментах преобладают лейкократовые (за счет высокого содержания плагиоклаза) плагиоклазовые и пироксен-плагиоклазовые базальтовые порфириды, темноцветные минералы в них замещаются актинолитом и хлоритом. Все базальтоиды в той или иной степени местами подвержены альбитизации и скаполитизации. Особенно интенсивно эти процессы развиты в базальтоидах в пределах рудных полей [9].

Согласно классификационных диаграмм вулканыты северного и южного сегментов представлены породами низкокалийевой (высоконатриевой) и средскалийевой серий с переходом их в качарском комплексе в высококалийевые серии (табл. 1, 2, рис. 2, 3). Вулканические породы высококалийевых серий наибольшее развитие получили в северном сегменте (20,3 % от 409 химических анализов). В южном сегменте частота их встречаемости заметно снижается (14,2 % от 189 химических анализов). При этом среднее содержание K_2O в однотипных группах пород вулканических серий северного и южного сегментов практически остается постоянным, т. е. существенного изменения содержания K_2O в породах серий не происходит на всем протяжении вулканического пояса (табл. 2). Особенно это характерно для вулканических пород низкокалийевой (высоконатрие-

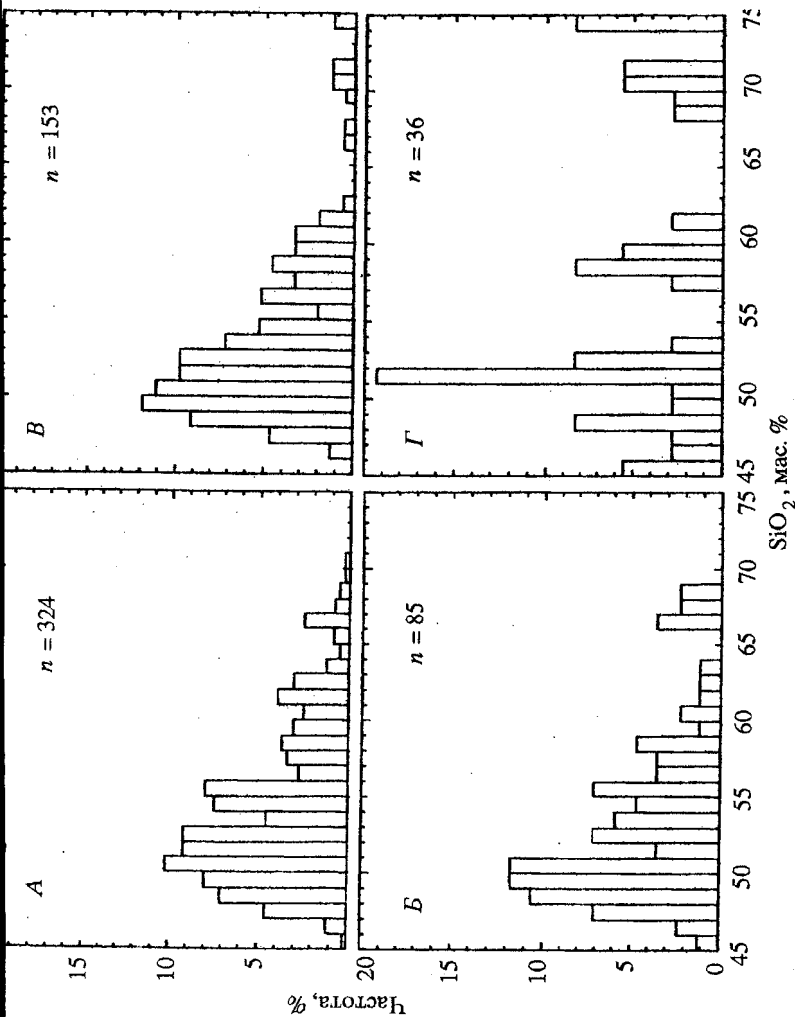


Рис. 1. Гистограммы распределения SiO_2 в вулканических породах Валерьяновского пояса. А, Б — северный сегмент. А — лавы и субвулканы толдеитовой, низкокальциевой (высококальциевой) и среднекальциевой серий валерьяновского и казарского комплексов. Б — лавы и субвулканы высококальциевых серий казарского комплекса. В, Г — южный сегмент. В — лавы и субвулканы низкокальциевой (высококальциевой) и среднекальциевой серий валерьяновского и казарского комплексов. Г — лавы и субвулканы высококальциевых серий казарского комплекса. n — число анализов.

Таблица 2

Средний химический состав вулканитов Валерьяновского пояса

| Компон. | 1 (2) | 2 (1) | 3 (7) | 4 (3) | 5 (8) | 6 (18) | 7 (21) | 8 (3) | 9 (1) |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|
| SiO ₂ | 50,66 | 54,36 | 61,12 | 65,15 | 49,94 | 55,01 | 59,28 | 65,76 | 69,24 |
| TiO ₂ | 0,90 | 0,86 | 0,91 | 0,42 | 1,10 | 0,96 | 0,72 | 0,45 | 0,38 |
| Al ₂ O ₃ | 17,99 | 14,37 | 14,94 | 15,59 | 18,05 | 16,92 | 16,43 | 14,97 | 14,95 |
| Fe ₂ O ₃ | 2,57 | 5,32 | 2,42 | 1,21 | 5,88 | 4,52 | 2,86 | 0,84 | 2,39 |
| FeO | 8,50 | 4,77 | 5,36 | 4,23 | 4,54 | 4,40 | 4,21 | 3,91 | 2,60 |
| MnO | 0,21 | 0,21 | 0,10 | 0,30 | 0,12 | 0,11 | 0,08 | 0,09 | 0,06 |
| MgO | 4,88 | 6,58 | 2,88 | 1,42 | 4,17 | 3,25 | 2,13 | 0,97 | 0,36 |
| CaO | 6,62 | 5,84 | 5,47 | 3,86 | 7,44 | 4,87 | 3,91 | 3,22 | 1,60 |
| Na ₂ O | 2,34 | 2,82 | 3,77 | 4,52 | 4,52 | 6,05 | 6,76 | 6,06 | 6,30 |
| K ₂ O | 0,68 | 0,77 | 1,08 | 0,89 | 0,17 | 0,35 | 0,37 | 0,58 | 0,40 |
| P ₂ O ₅ | 0,21 | 0,12 | 0,24 | 0,17 | 0,21 | 0,21 | 0,25 | 0,15 | |
| <i>nnn</i> | 3,59 | 3,42 | 1,08 | 1,60 | 4,19 | 2,38 | 2,74 | 2,60 | 1,03 |
| Сумма | 99,15 | 99,44 | 99,37 | 99,36 | 100,33 | 99,03 | 99,74 | 99,60 | 99,31 |
| FeO'/MgO | 2,22 | 1,45 | 2,62 | 3,75 | 2,36 | 2,61 | 3,18 | 4,81 | 13,2 |
| K ₂ O/Na ₂ O | 0,29 | 0,27 | 0,29 | 0,20 | 0,04 | 0,06 | 0,05 | 0,10 | 0,06 |
| <i>f</i> | 68,9 | 59,2 | 72,4 | 78,9 | 70,2 | 72,3 | 76,1 | 82,8 | 93,0 |
| α | 0,25 | 0,38 | 0,49 | 0,54 | 0,42 | 0,61 | 0,70 | 0,70 | 0,72 |
| <i>al</i> | 1,13 | 0,86 | 1,40 | 2,27 | 1,24 | 1,39 | 1,78 | 2,62 | 2,79 |
| Al' | +27,1 | -33,6 | -46,4 | +3,6 | -60,7 | -44,2 | -43,1 | -28,9 | +24,6 |
| CA | 68,7 | 61,9 | 53,0 | 41,6 | 61,3 | 43,2 | 35,4 | 32,7 | 19,3 |

| Компон. | 10 (106) | 11 (41) | 12 (14) | 13 (6) | 14 (2) | 15 (46) | 16 (14) | 17 (22) | 18 (9) |
|------------------------------------|----------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| SiO ₂ | 49,86 | 54,81 | 59,77 | 65,32 | 69,47 | 51,02 | 54,81 | 60,23 | 66,64 |
| TiO ₂ | 1,00 | 0,87 | 0,86 | 0,31 | 0,36 | 1,24 | 1,51 | 1,03 | 0,56 |
| Al ₂ O ₃ | 17,49 | 16,75 | 16,32 | 15,71 | 14,98 | 16,77 | 15,94 | 16,11 | 15,55 |
| Fe ₂ O ₃ | 4,89 | 4,30 | 3,31 | 2,35 | 2,76 | 5,02 | 4,16 | 2,58 | 1,85 |
| FeO | 5,53 | 5,07 | 2,94 | 2,01 | 1,24 | 6,03 | 5,69 | 4,19 | 2,84 |
| MnO | 0,18 | 0,12 | 0,08 | 0,09 | 0,05 | 0,19 | 0,20 | 0,13 | 0,10 |
| MgO | 4,85 | 3,56 | 2,67 | 1,21 | 1,42 | 4,94 | 3,82 | 2,62 | 0,94 |
| CaO | 7,36 | 5,40 | 4,20 | 3,11 | 2,49 | 5,86 | 4,98 | 3,53 | 1,83 |
| Na ₂ O | 4,02 | 4,77 | 4,91 | 5,94 | 4,08 | 4,36 | 4,49 | 5,20 | 5,35 |
| K ₂ O | 1,00 | 1,18 | 1,42 | 1,37 | 1,67 | 1,13 | 1,54 | 1,97 | 2,68 |
| P ₂ O ₅ | 0,20 | 0,27 | 0,29 | 0,17 | 0,21 | 0,34 | 0,56 | 0,31 | 0,15 |
| <i>nnn</i> | 3,11 | 2,51 | 2,49 | 2,29 | 1,54 | 2,74 | 2,27 | 1,80 | 1,44 |
| Сумма | 99,49 | 99,60 | 99,28 | 99,88 | 100,27 | 99,64 | 99,98 | 99,72 | 99,94 |
| FeO'/MgO | 2,05 | 2,51 | 2,22 | 3,41 | 2,62 | 2,14 | 2,47 | 2,48 | 4,80 |
| K ₂ O/Na ₂ O | 0,25 | 0,25 | 0,29 | 0,23 | 0,41 | 0,26 | 0,34 | 0,38 | 0,50 |
| <i>f</i> | 67,2 | 71,5 | 68,9 | 77,3 | 72,4 | 68,1 | 71,2 | 71,3 | 82,8 |
| α | 0,44 | 0,55 | 0,59 | 0,71 | 0,57 | 0,50 | 0,57 | 0,66 | 0,75 |
| <i>al</i> | 1,15 | 1,30 | 1,83 | 2,82 | 2,76 | 1,05 | 1,17 | 1,72 | 2,76 |
| Al' | -70,2 | -43,0 | -18,1 | -23,5 | +38,0 | -44,6 | -42,4 | -19,2 | +10,4 |
| CA | 59,5 | 47,6 | 39,9 | 29,8 | 30,2 | 51,6 | 45,2 | 33,0 | 18,6 |

| Компон. | 19 (36) | 20 (10) | 21 (10) | 22 (5) | 23 (2) | 24 (11) | 25 (8) | 26 (2) | 27 (1) |
|------------------------------------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| SiO ₂ | 49,25 | 54,88 | 59,72 | 66,30 | 68,86 | 50,24 | 54,68 | 57,86 | 66,00 |
| TiO ₂ | 1,05 | 1,14 | 0,76 | 0,50 | 0,33 | 0,97 | 0,72 | 1,06 | 0,75 |
| Al ₂ O ₃ | 18,19 | 17,30 | 16,59 | 14,49 | 15,67 | 17,69 | 18,22 | 16,93 | 14,04 |
| Fe ₂ O ₃ | 5,01 | 4,88 | 2,84 | 2,04 | 0,52 | 5,32 | 2,40 | 3,50 | 1,43 |
| FeO | 5,93 | 4,31 | 3,29 | 2,84 | 1,67 | 5,71 | 4,31 | 3,26 | 3,22 |
| MnO | 0,17 | 0,14 | 0,10 | 0,09 | 0,06 | 0,17 | 0,11 | 0,08 | 0,07 |
| MgO | 4,48 | 2,90 | 2,76 | 1,15 | 0,62 | 4,70 | 3,00 | 2,26 | 0,40 |
| CaO | 5,95 | 3,90 | 3,38 | 1,97 | 2,87 | 4,27 | 5,04 | 3,19 | 2,38 |
| Na ₂ O | 3,98 | 4,60 | 4,79 | 4,91 | 3,98 | 4,05 | 3,83 | 5,46 | 3,45 |
| K ₂ O | 1,95 | 2,37 | 2,89 | 3,52 | 3,34 | 2,95 | 4,77 | 3,77 | 4,88 |
| P ₂ O ₅ | 0,22 | 0,36 | 0,23 | 0,10 | 0,10 | 0,33 | 0,29 | 0,15 | |
| <i>nnn</i> | 3,20 | 2,91 | 2,25 | 0,96 | 2,16 | 3,45 | 2,01 | 1,90 | 2,55 |
| Сумма | 99,38 | 99,69 | 99,60 | 98,87 | 100,18 | 99,85 | 99,38 | 99,42 | 99,17 |
| FeO'/MgO | 2,33 | 3,00 | 2,12 | 4,07 | 3,45 | 2,23 | 2,16 | 2,84 | 11,28 |
| K ₂ O/Na ₂ O | 0,49 | 0,52 | 0,60 | 0,72 | 0,84 | 0,73 | 1,25 | 0,69 | 1,41 |
| <i>f</i> | 70,0 | 75,0 | 67,9 | 80,3 | 77,5 | 69,1 | 68,3 | 73,9 | 91,9 |
| α | 0,48 | 0,58 | 0,66 | 0,85 | 0,65 | 0,56 | 0,63 | 0,77 | 0,78 |
| <i>al</i> | 1,18 | 1,43 | 1,87 | 2,40 | 5,58 | 1,12 | 1,88 | 1,88 | 2,78 |
| Al' | -25,1 | +1,7 | -11,0 | -19,0 | +5,7 | +1,7 | -47,1 | -37,7 | -24,2 |
| CA | 50,1 | 35,9 | 30,6 | 18,9 | 28,2 | 37,9 | 36,9 | 25,7 | 22,2 |

| Компон. | 28 (8) | 29 (2) | 30 (4) | 31 (80) | 32 (28) | 33 (22) | 34 (2) | 35 (5) | 36 (2) |
|------------------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|
| SiO ₂ | 49,94 | 54,23 | 58,12 | 50,17 | 54,68 | 59,54 | 66,69 | 70,73 | 74,46 |
| TiO ₂ | 1,13 | 0,61 | 0,59 | 1,05 | 0,89 | 0,71 | 0,24 | 0,22 | 0,08 |
| Al ₂ O ₃ | 17,38 | 19,46 | 17,54 | 17,52 | 17,63 | 16,72 | 15,08 | 14,93 | 14,76 |
| Fe ₂ O ₃ | 5,78 | 3,44 | 2,50 | 5,72 | 5,91 | 5,58 | 3,53 | 2,32 | 1,52 |
| FeO | 3,48 | 3,69 | 2,77 | 3,45 | 2,70 | 2,22 | 1,22 | 1,34 | 0,67 |
| MnO | 0,07 | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,16 | 0,10 | 0,08 | 0,06 | 0,02 |
| MgO | 5,31 | 2,90 | 2,64 | 5,33 | 3,96 | 2,41 | 0,89 | 0,70 | 0,32 |
| CaO | 8,42 | 8,14 | 6,12 | 7,68 | 5,18 | 3,41 | 2,32 | 0,80 | 0,33 |
| Na ₂ O | 5,34 | 5,70 | 6,99 | 4,41 | 4,62 | 4,87 | 5,90 | 5,05 | 5,00 |
| K ₂ O | 0,29 | 0,36 | 0,41 | 1,03 | 1,34 | 1,67 | 1,90 | 2,39 | 1,90 |
| P ₂ O ₅ | 0,29 | 0,32 | 0,20 | 0,25 | 0,21 | 0,17 | | | |
| <i>nnn</i> | 2,48 | 1,75 | 1,39 | 2,60 | 2,34 | 2,00 | | 1,28 | |
| Сумма | 99,91 | 100,71 | 99,39 | 99,34 | 99,62 | 99,40 | 97,85 | 99,82 | 99,06 |
| FeO'/MgO | 1,63 | 2,34 | 1,90 | 1,61 | 2,03 | 3,00 | 4,94 | 4,90 | 6,38 |
| K ₂ O/Na ₂ O | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,23 | 0,29 | 0,34 | 0,32 | 0,47 | 0,38 |
| <i>f</i> | 62,0 | 70,1 | 65,5 | 61,7 | 66,9 | 75,0 | 83,2 | 83,1 | 86,4 |
| α | 0,52 | 0,50 | 0,68 | 0,48 | 0,51 | 0,58 | 0,78 | 0,73 | 0,70 |
| <i>al</i> | 1,19 | 1,94 | 2,22 | 1,21 | 1,40 | 1,64 | 2,67 | 3,42 | 5,88 |
| Al' | -137,7 | -99,9 | -108,3 | -94,3 | -16,4 | +13,8 | -17,5 | +50,7 | +76,2 |
| CA | 59,9 | 57,3 | 45,3 | 58,5 | 46,5 | 34,3 | 22,9 | 9,7 | 4,6 |

| Компон. | 37 (15) | 38 (1) | 39 (3) | 40 (6) | 41 (3) | 42 (4) | 43 (4) | 44 (16) | 45 (1) | 46 (2) |
|------------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|
| SiO ₂ | 50,29 | 53,48 | 59,80 | 70,07 | 74,44 | 48,80 | 58,64 | 67,24 | 66,20 | 71,41 |
| TiO ₂ | 0,92 | 0,80 | 0,71 | 0,24 | 0,22 | 0,90 | 0,85 | 0,30 | 0,50 | 0,34 |
| Al ₂ O ₃ | 18,36 | 17,83 | 16,63 | 15,19 | 14,69 | 19,69 | 15,57 | 14,39 | 16,07 | 14,10 |
| Fe ₂ O ₃ | 5,39 | 7,10 | 4,26 | 1,95 | 1,10 | 4,30 | 3,16 | 1,10 | 1,09 | 1,66 |
| FeO | 3,11 | 1,33 | 1,45 | 1,02 | 0,80 | 5,46 | 3,61 | 1,41 | 2,62 | 1,45 |
| MnO | 0,12 | 0,09 | 0,13 | 0,03 | 0,07 | 0,14 | 0,12 | 0,04 | 0,06 | 0,04 |
| MgO | 5,25 | 3,51 | 1,15 | 0,42 | 0,36 | 4,13 | 2,50 | 1,11 | 0,57 | 0,26 |
| CaO | 5,64 | 5,09 | 4,18 | 1,23 | 0,43 | 6,57 | 4,14 | 3,95 | 0,93 | 1,16 |
| Na ₂ O | 4,77 | 5,88 | 4,94 | 4,39 | 3,00 | 3,24 | 4,91 | 7,15 | 8,00 | 7,44 |
| K ₂ O | 2,01 | 2,71 | 3,23 | 3,83 | 4,27 | 2,57 | 3,89 | 0,53 | 0,64 | 0,25 |
| P ₂ O ₅ | 0,25 | 0,04 | 0,34 | 0,07 | | 0,40 | | 0,04 | 0,18 | |
| nnn | 3,92 | | 3,05 | 1,35 | 1,06 | 2,87 | 1,95 | 2,94 | 2,24 | |
| Сумма | 100,03 | 97,82 | 99,87 | 99,79 | 100,44 | 99,07 | 99,34 | 100,2 | 99,17 | 98,11 |
| FeO'/MgO | 1,52 | 2,20 | 4,59 | 6,62 | 4,97 | 2,26 | 2,58 | 2,16 | 6,32 | 11,31 |
| K ₂ O/Na ₂ O | 0,42 | 0,46 | 0,65 | 0,87 | 1,42 | 0,79 | 0,79 | 0,07 | 0,08 | 0,03 |
| f | 60,3 | 68,7 | 82,1 | 86,9 | 83,3 | 69,3 | 72,1 | 68,4 | 86,3 | 91,9 |
| α | 0,54 | 0,71 | 0,70 | 0,75 | 0,65 | 0,41 | 0,79 | 0,86 | 0,86 | 0,89 |
| al | 1,33 | 1,49 | 2,42 | 4,48 | 6,50 | 1,42 | 1,68 | 3,97 | 3,75 | 4,18 |
| Al' | -37,6 | -79,0 | -50,7 | +31,2 | +85,3 | -7,2 | -83,1 | -100,4 | +10,4 | -10,1 |
| CA | 45,4 | 37,2 | 33,8 | 13,0 | 5,6 | 53,1 | 32,0 | 34,0 | 9,7 | 13,1 |

Примечание. 1—27 — Северный сегмент. Валерьяновский комплекс, C₁v₂v₃. 1—4 — толеитовая базальт-андезит-дацитовая серия: 1 — базальт, 2 — андезибазальт, 3 — андезит, 4 — дацит. 5—9 — низкокальцевая (высоконариевая) известково-щелочная базальт-андезит-дацитовая серия: 5 — базальт, 6 — андезибазальт, 7 — андезит, 8 — дацит, 9 — риодацит. 10—14 — среднекальцевая базальт-андезитовая серия, эффузивная и субвулканическая фации: 10 — базальт, 11 — андезибазальт, 12 — андезит, 13 — дацит, 14 — риодацит. Качарский комплекс, C₁v₃-sp. 15—18 — среднекальцевая базальт-андезитовая серия, эффузивная и субвулканическая фации: 15 — базальт, 16 — андезибазальт, 17 — андезит, 18 — дацит. 19—23 — высококальцевая трахибазальт-трахиандезитовая серия: 19 — трахибазальт, 20 — трахиандезибазальт, 21 — трахиандезит, 22 — трахидацит, 23 — риодацит. 24—27 — шопонит-латит-трахитовая серия: 24 — абсарокит, 25 — шопонит, 26 — кварцевый латит, 27 — трахит. 28—46 — Южный сегмент. Валерьяновский и качарский комплексы, эффузивная и субвулканическая фации, C₁v₂—C₁s. 28—30 — низкокальцевая (высоконариевая) базальт-андезитовая серия: 28 — базальт, 29 — андезибазальт, 30 — андезит. 31—33 — среднекальцевая базальт-андезитовая серия: 31 — базальт, 32 — андезибазальт, 33 — андезит. 34—36 — среднекальцевая дацит-риодацитовая серия: 34 — дацит, 35 — риодацит, 36 — риодит. Качарский комплекс, C₁s—C₂b. 37—39 — трахибазальт-трахиандезитовая серия: 37 — трахибазальт, 38 — трахиандезибазальт, 39 — трахиандезит. 40—41 — высококальцевая дацит-риодацитовая серия: 40 — риодацит, 41 — риодит. 42—43 — трахибазальт-трахитовая серия: 42 — трахибазальт, 43 — трахит. 44—46 — кератофир-кварцальбитофировая серия. 44 — кератофир Соколовского месторождения по [12], 45 — альбитофир, 46 — кварцевый альбитофир.

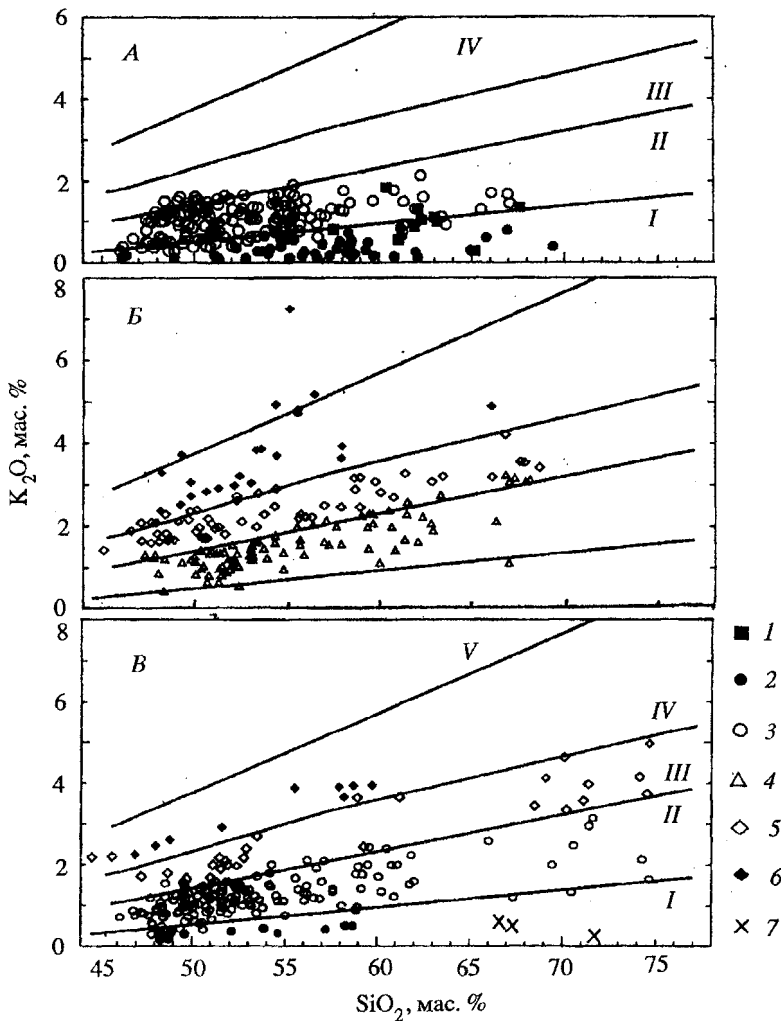


Рис. 2. Классификация вулканических пород Валерьяновского пояса по калию.

I—V — поля серий пород по [49]: *I* — низкокальцевая толеитовая; *II* — умереннокальцевая известково-щелочная; *III* — высококальцевая известково-щелочная; *IV* — абсарокит-шононит-латит-трахитовая; *V* — щелочная. *1—9* — серии вулканических пород Валерьяновского пояса. *A, B* — северный сегмент. Валерьяновский комплекс: *1* — толеитовая базальт-андезит-дацитовая, *2* — низкокальцевая (высоконатриевая) известково-щелочная базальт-андезит-дацитовая, *3* — среднекальцевая известково-щелочная базальт-андезитовая. Качарский комплекс: *4* — среднекальцевая базальт-андезитовая, *5* — трахибазальт-трахиандезитовая, *6* — шононит-латит-трахитовая. *B* — южный сегмент. Валерьяновский и качарский комплексы неразделенные: *2* — низкокальцевая (высоконатриевая) известково-щелочная базальт-андезитовая, *3* — среднекальцевые базальт-андезитовая и дацит-риолитовая. Качарский комплекс: *5* — высококальцевые трахибазальт-трахиандезитовая и дацит-риолитовая, *6* — трахибазальт-трахитовая, *7* — высоконатриевая кератофир-кварцальбитофировая.

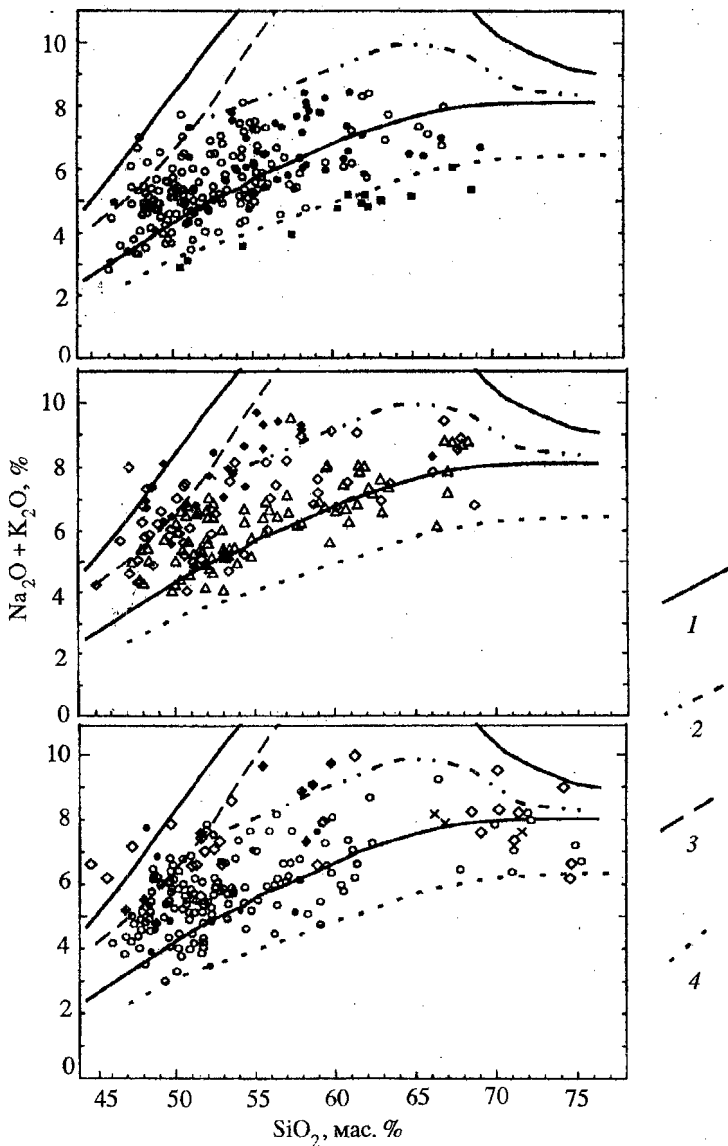


Рис. 3. Классификация вулканических пород Валерьяновского пояса по сумме щелочей [26].

А, Б — северный сегмент, *В* — южный сегмент. 1 — границы поля субщелочных пород, содержащих щелочные пироксены и амфиболы, 2 — нижняя граница поля щелочных пород, содержащих фельдшпатоиды, 3 — нижняя граница поля пород толеитовой серии, 4 — верхняя граница поля пород толеитовой серии. Остальные условные те же, что на рис. 2.

вой) и среднекалиевой серий. В то же время в базальтах низкокалиевой (высоконатриевой), среднекалиевой и высококалиевой серий от северного к южному сегменту отчетливо наблюдается увеличение коэффициента апаитности, что объясняется увеличением их общей щелочности за счет повышения содержаний натрия, особенно в породах низкокалиевой (высоконатриевой) и среднекалиевой серий (табл. 1, 2). Это подтверждается почти двухкратным увеличением частоты встречаемости нормативного нефелина в базальтах южного (30 %) по сравнению с базальтами северного (18 %) сегмента, при вариации содержаний 0,02—11,7 % в северном и 0,42—11,5 % в южном сегментах. Появление нормативного нефелина в базальтах мы не можем объяснить только развитием в них метасоматического скаполита — минерала недосыщенного кремнием. Рассчитанные нами содержания нормативного нефелина в чистом скаполите из метасоматитов Качарского месторождения варьируют от 3,12 % до 16,05 % [11]. Отсюда ясно, что высокие содержания нормативного нефелина в базальтах (5—11 %) метасоматический скаполит дать не может. Мы явно имеем дело с первичной (магматической) высокой натриевостью пород, что нами отмечалось ранее для железоносных вулканических серий Магнитогорского и Валерьяновского поясов [37, 39].

Наряду с повышением общей щелочности в средних химических составах базальтов низкокалиевой (высоконатриевой), среднекалиевой и высококалиевой серий от северного к южному сегменту происходит снижение коэффициента общей железистости, что безусловно связано с сбросом железа (ликвацией) в промежуточных магматических камерах при переходе толеитового тренда кристаллизации вулканических пород в известково-щелочной тренд [39].

На основании геологических и петрохимических исследований в северном сегменте пояса в валерьяновском комплексе выделены толеитовая и низкокалиевая (высоконатриевая) базальт-андезит-дацитовая и среднекалиевая известково-щелочная базальт-андезитовая серии, в качарском — среднекалиевая субщелочная базальт-андезитовая, высококалиевая трахибазальт-трахиандезитовая и шошонит-латит-трахитовая серии [35, 36, 39]. В южном сегменте Валерьяновского пояса аналогичные серии (за исключением толеитовой) выделены на основании анализа опубликованных работ (см. список работ) и обобщения по вулканитам собранных в фондовых источниках петрохимических данных (см. табл. 2).

Средние химические анализы вулканитов северного сегмента рассчитаны по данным А. М. Пумпянского, фондовые материалы объединения “Уралгеология”, г. Екатеринбург, южного — по дан-

ным О. К. Ксенофонтова, Е. А. Мазиной и др., фондовые материалы геолого-съемочных работ Северо-Казахстанского геологического управления, г. Кустанай. В круглых скобках указано количество анализов. Железистость $f = (0,9\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}) / (0,9\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO})$, %; щелочность (агпаитность) $\alpha = (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / \text{Al}_2\text{O}_3$, мол. к-ва; глиноземистость $al = \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO})$, %; $\text{Al}' = \text{Al} - (2\text{Ca} + \text{Na} + \text{K})$, ат. к-ва; известковистость $\text{CA} = \text{CaO} / (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$, %.

Краткая сравнительная петрохимическая характеристика однотипных вулканических серий северного и южного сегментов Валерьяновского пояса

1. Толеитовая базальт-андезит-дацитовая серия.

Как было сказано выше, вулканические породы толеитовой серии установлены в северном сегменте. Вулканисты этой серии имеют ограниченное развитие (3,1 % от 409 хим. анализов), чаще встречаются в субвулканической фации, что позволяет считать их производными остаточных магматических очагов. По петрохимическим особенностям это пересыщенные кремнеземом низко-среднекалиевые высокоизвестковистые, высокоглиноземистые породы, характеризующиеся низким содержанием TiO_2 (<1 %) и повышенной железистостью (рис. 2, 3, табл. 2). Средние химические составы пород серии на диаграмме $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ близки тренду кристаллизации среднекалиевой диабаз-кератофировой серии Ирбинского скарново-магнетитового месторождения Южно-Минусинской впадины (рис. 4 А). По агпаитности породы этой серии относятся к наименее щелочным по сравнению с вулканическими породами других серий северного и южного сегментов (рис. 5). Базальты их соответствуют низкокалиевым позднекайнозойским базальтам Камчатки, а андезибазальты и андезиты более отвечают породам среднекалиевой серии позднекайнозойских лав Камчатки, т. е. они более щелочные, чем аналогичные по составу породы толеитовой серии развитых островных дуг. Базальты толеитовой серии северного сегмента отличаются от толеитовых высокоглиноземистых базальтов развитых островных дуг (Курило-Камчатской, Мало-Анtilьской, Алеутской и др.) [26, 42, 43] и базальтов краевых вулканических поясов (Охотско-Чукотского, Восточно-Сихотэ-Алиньского) [23, 24, 29] меньшей известковистостью и значительно меньшим содержанием CaO (на 2—5 %) (рис. 6, табл. 2). Они так же характеризуются существенным увеличением глиноземистости. Если базальты развитых островных дуг и краевых вулканических поясов, обычно, относятся к породам нормального ряда, то толеитовые базаль-

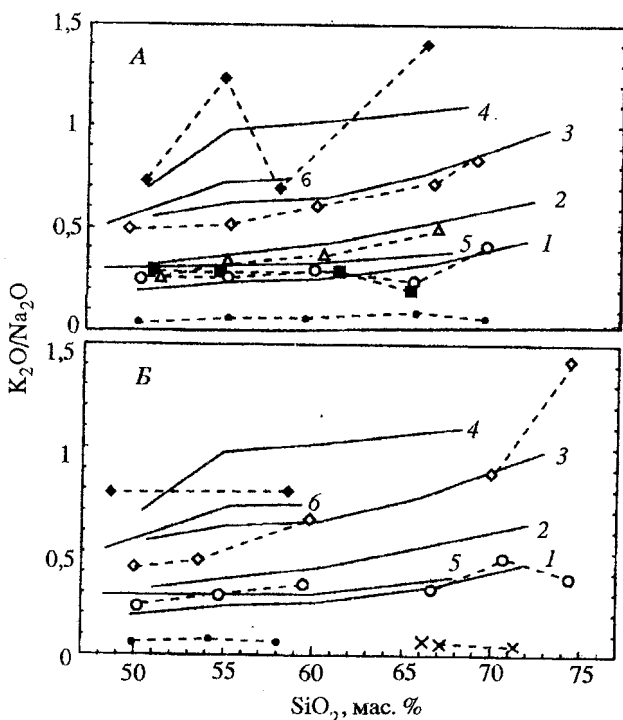


Рис. 4. Диаграмма K_2O/Na_2O-SiO_2 средних составов пород вулканических серий Валерьяновского пояса.

А — северный сегмент, Б — южный сегмент. Эталонные серии островной дуги по [26]. 1 — низкокальцевая, 2 — среднекальцевая, 3 — высококальцевая, 4 — абсарокит-шошонит-лагит-трахитовая. Эталонные серии Минусинской впадины: 5 — диабаз-кератофировая Ирбинского скарново-магнетитового месторождения [30]; 6 — трахибазальт-трахиандезитовая [5]. Условные обозначения средних составов пород вулканических серий те же, что на рис. 2.

ты Валерьяновского пояса относятся к ряду пород пересыщенных алюминием (табл. 2, рис. 7). К сожалению малое количество химических анализов не позволяет считать этот вывод бесспорным. Тем не менее тенденция для этой группы пород остается неизменной — низкая общая щелочность, пониженное содержание магния, высокие глиноземистость, известковистость и железистость.

По содержанию MgO (около 5%), K_2O (0,3—0,7%), суммы щелочей ($Na_2O + K_2O$) < 4,5% базальты толеитовой серии Валерьяновского пояса сопоставимы с умереннокальцевыми континентальными толеитовыми базальтами Норильского района, отличаясь от них повышенной глиноземистостью и более низким содержанием TiO_2 (0,9% против 1,35%) [4].

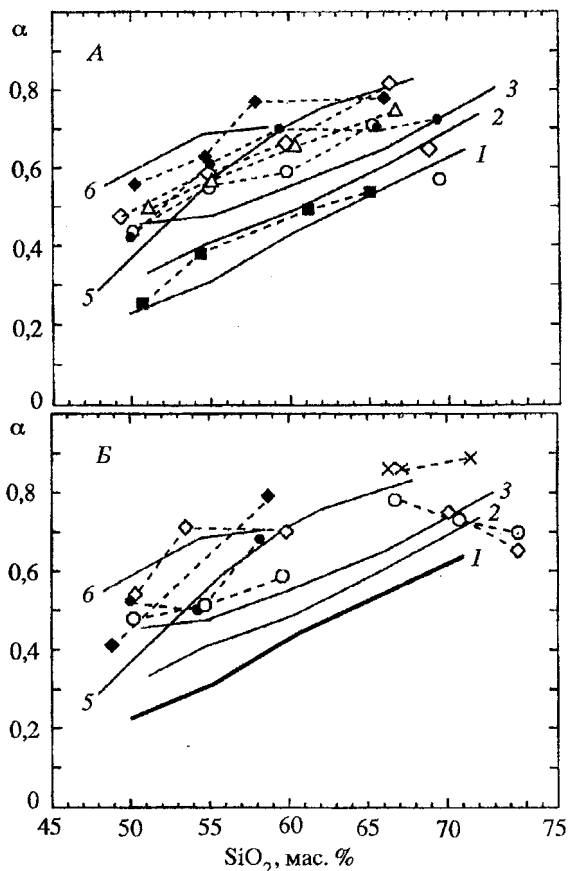


Рис. 5. Диаграмма щелочности (агпаитности) α - SiO_2 средних составов пород вулканических серий Валерьяновского пояса.

А — северный сегмент, Б — южный сегмент. Тренды эталонных серий те же, что на рис. 4. Условные обозначения средних составов пород вулканических серий те же, что на рис. 2. $\alpha = (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$, в мол. к-вах.

Согласно коэффициенту общей железистости кристаллизация базальтов толеитовой серии, как и большинства базальтов Валерьяновского пояса, происходила в условиях близких к кривой ликвидуса плавления базальта Килауеа 1921 при буфере QFM, т. е. при относительно низких значениях фугитивности кислорода (рис. 8).

2. Низкокалиевая (высоконатриевая) известково-щелочная базальт-андезит-дацитовая серия. Вулканыты этой серии развиты в северном и южном сегментах Валерьяновского пояса. Пространст-

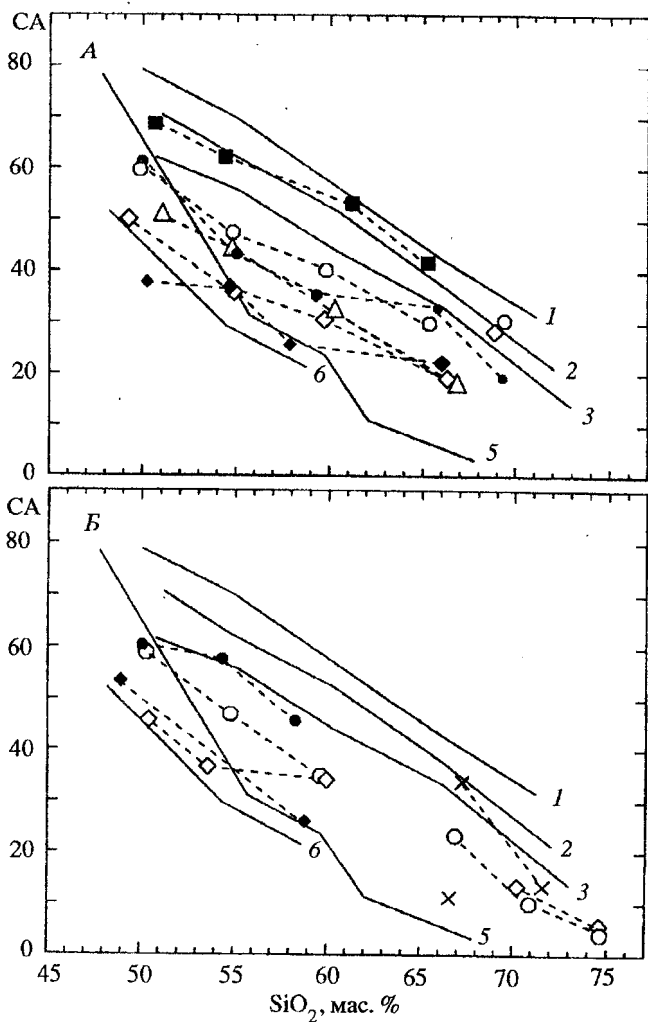


Рис. 6. Диаграмма известковистости $Ca-SiO_2$ средних составов пород вулканических серий Валерьяновского пояса. А — северный сегмент, Б — южный сегмент. Тренды эталонных серий те же, что на рис. 4. Условные обозначения средних составов пород вулканических серий те же, что на рис. 2. $CA = CaO/(CaO + Na_2O + K_2O)$, %.

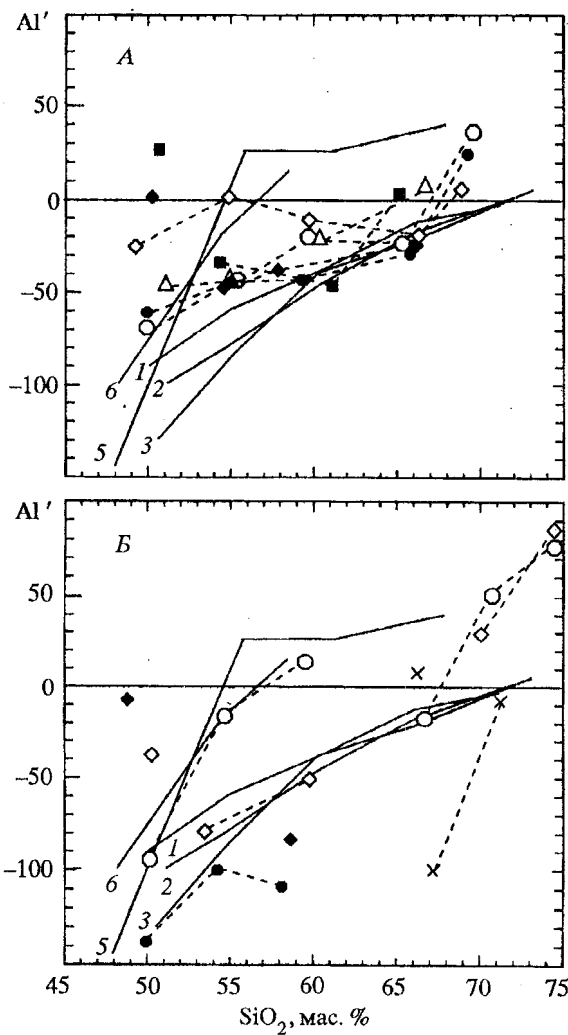


Рис. 7. Диаграмма глиноземистости Al' — SiO_2 средних составов пород вулканических серий Валерьяновского пояса.

А — северный сегмент, Б — южный сегмент. Тренды эталонных серий те же, что на рис. 4. Условные обозначения средних составов пород вулканических серий те же, что на рис. 2. $Al' = Al - (2Ca + Na + K)$, ат. к-ва.

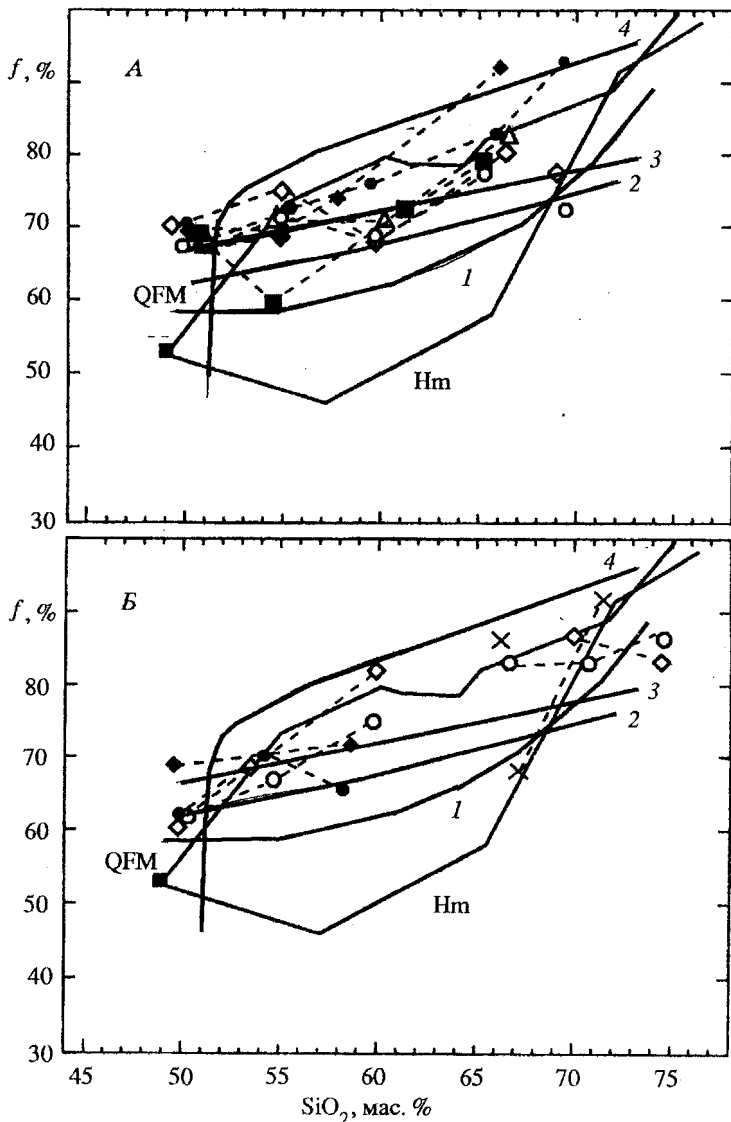


Рис. 8. Диаграмма железистости f - SiO_2 средних составов пород вулканических серий Валерьяновского пояса.

А — северный сегмент, Б — южный сегмент. Жирной линией показаны линии ликвидуса плавления базальта Килауса 1921 при $P_{\text{H}_2\text{O}} = 5$ кбар кварц-фаялит-магнетитовом [QFM] и гематит-магнетитовом [Hm] буферах [48]. Тренды известково-щелочных серий: 1 — базальт-андезит-риолитовая Каскадных гор [46], 2 — среднекалевая позднекайнозойских лав Камчатки [26], 3 — высококалевая позднекайнозойских лав Камчатки [26]. Тренды толеитовых эталонных серий: 4 — долерит-гранофировая серия Карру [41]. Условные обозначения средних составов пород вулканических серий те же, что на рис. 2. $f = (\text{FeO} + 0,9\text{Fe}_2\text{O}_3)/(\text{FeO} + 0,9\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})$, %.

венно они обычно ассоциируют с вулканическими породами базальт-андезитовой серии. Соотношение между вулканитами низкокалиевой (высоконатриевой) и среднекалиевой серий не установлено. В северном сегменте вулканиты низкокалиевой (высоконатриевой) серии представлены базальтами, андезибазальтами, андезитами, реже дацитами, в южном — базальтами, андезибазальтами, андезитами (табл. 2, рис. 2, 3). По петрохимическому составу породы этой серии северного и южного сегментов аналогичны друг другу. Это лейкократовые низкотитанистые ($TiO_2 \leq 1\%$), низкокалиевые ($K_2O < 0,5\%$), высоконатриевые ($Na_2O = 4,5-7,0\%$) вулканические породы. За счет высокого содержания натрия на классификационных диаграммах фигуративные точки их химических составов попадают в поле типичных известково-щелочных пород (рис. 3). Как в северном так и в южном сегментах вулканиты этой серии характеризуются наиболее низкими значениями K_2O/Na_2O отношений, не превышающих 0,1 для всех групп пород (рис. 4). Вопрос о высоком содержании в них натрия остается не решенным до сих пор. Закономерное увеличение содержаний Na_2O в северном и южном сегментах от базальтов к андезибазальтам и андезитами позволяет сделать вывод о его первичной (магматической) природе (табл. 2). В то же время при микроскопическом изучении в вулканических породах серии видны процессы деанортизации и альбитизации плагиоклазов, что, как известно, так же приводит к повышению их натриево-сти. Вопрос о соотношении “магматического” и “метасоматического” натрия в вулканитах требует дальнейших исследований.

Изменение агпаитности в породах высоконатриевой серии в северном и южном сегментах соответствует тренду кристаллизации диабаз-кератофировой серии Ирбинского скарново-магнетитового месторождения (рис. 5). Это говорит о сходстве состава и геологических условий формирования железосных вулканических пород Валерьяновского пояса и Минусинской впадины, на что указывалось ранее [20].

Базальты низкокалиевой (высоконатриевой) серии северного и южного сегментов характеризуются одинаковой известковистостью. В то время как коэффициент их железистости снижается, а коэффициент агпаитности увеличивается от северного к южному сегменту (табл. 1). В отличие от базальтов в андезибазальтах и андезитах установлено отчетливое увеличение коэффициента известковистости от северного к южному сегменту (табл. 2, рис. 6). В этом направлении происходит снижение глиноземистости вулканических пород (рис. 7), т. е. андезибазальты и андезиты южного сегмента данной серии характеризуются большей известковистостью и мень-

шей глиноземистостью по сравнению с аналогичными вулканическими породами северного сегмента. Изменение значений коэффициента общей железистости в породах серии северного сегмента следуют вдоль тренда кристаллизации толеитовой серии Карру и линии ликвидуса плавления базальта Килауеа 1921 при QFM буфере, что позволяет предположить о кристаллизации пород серии в условиях низких значений фугитивности кислорода (рис. 8 А). Для вулкаников южного сегмента аналогичное изменение коэффициента общей железистости установлено для базальтов и андезитобазальтов. В андезитах происходит снижение коэффициента общей железистости и его значения отвечают железистости андезитов известково-щелочной серии развитых островных дуг (рис. 8 Б). Уменьшение коэффициента железистости в базальтах и андезитах южного сегмента по сравнению с аналогичными породами северного сегмента объясняется ликвацией натрий-кремний-железистых расплавов в промежуточных магматических очагах, что явилось основной причиной появления здесь крупнейших железорудных месторождений [39]. Аналогичные изменения коэффициента общей железистости установлено в высоконатриевой базальт-андезит-дацитовой серии Магнитогорского рудного района [37].

3. Среднекалиевая базальт-андезитовая серия.

Вулканики базальт-андезитовой серии существенно преобладают как в северном (63 % от 409 хим. анализов) так и в южном (68 % от 189 хим. анализов) сегментах. В северном сегменте они входят в состав валерьяновского (C_{1v_1} — C_{2b}) и качарского (C_{1s} — C_{2b}) комплексов и соответственно разделяются на две самостоятельные следующие друг за другом однотипные петрохимические серии (табл. 1, 2). Последовательность развития серий доказывается возрастом вмещающих их терригенно-карбонатных пород [34]. Петрохимические и геохимические особенности слагающих вулканогенных пород подтверждают самостоятельное развитие серий [39]. В то же время последовательное развитие серий и сходство состава слагающих их вулканических пород позволяют сделать вывод о том, что базальтоиды базальт-андезитовой серии валерьяновского и качарского комплексов произошли из единого эволюционирующего во времени магматического очага. Первые из них относятся к стадии растяжения, вторые к стадии сжатия рифтогенной структуры [36, 38]. На классификационных диаграммах химические составы вулкаников базальт-андезитовой серии северного и южного сегментов отвечают составу среднекалиевых известково-щелочных пород с переходом в субщелочные породы (рис. 2, 3). При этом петрохимический состав их приближается к гавайитам и муджиеритам.

На диаграмме K_2O/Na_2O-SiO_2 тренд изменений химического состава вулканических пород базальт-андезитовой серии валерьяновского комплекса аналогичен тренду кристаллизации пород толеитовой серии и занимает промежуточное положение между трендами дифференциации позднекайнозойской низкокалиевой серии Камчатки и диабаз-кератофировой серии Ирбинского скарново-магнетитового месторождения Южно-Минусинской впадины (рис. 4 А). В отличие от валерьяновского комплекса изменение химического состава вулканических пород базальт-андезитовой серии качарского комплекса более соответствует тренду дифференциации среднекалиевой серии позднекайнозойских лав Камчатки, т. е. по сравнению с вулканическими породами базальт-андезитовой серии валерьяновского комплекса они являются более щелочными (рис. 4 А). Это также подтверждается увеличением в них коэффициента агапитности (рис. 5 А). С повышением щелочности в вулканитах базальт-андезитовой серии качарского комплекса снижается известковистость. Состав их приближается к составу вулканических пород диабаз-кератофировой серии Ирбинского скарново-магнетитового месторождения Южно-Минусинской впадины. В отличие от качарского комплекса вулканические породы базальт-андезитовой серии валерьяновского комплекса характеризуются более высокой известковистостью, что подтверждается расположением фигуративных точек коэффициента известковистости вдоль тренда дифференциации позднекайнозойской высококалиевой серии Камчатки (рис. 6 А).

По глиноземистости средние химические составы вулканических пород базальт-андезитовой серии валерьяновского и качарского комплексов северного сегмента несколько различаются в группе базальта и почти не различаются в группах андезибазальта и андезита. Глиноземистость базальтов этих серий изменяется вдоль тренда дифференциации трахибазальт-трахиандезитовой серии Северо-Минусинской впадины, а андезибазальтов и андезитов вдоль тренда дифференциации позднекайнозойской низкокалиевой серии Камчатки (рис. 7 А).

Вулканические породы базальт-андезитовой серии южного сегмента по щелочности и известковистости близки вулканическим породам аналогичной серии валерьяновского и качарского комплексов северного сегмента (рис. 5, 6). Наиболее существенные различия между вулканическими породами базальт-андезитовых серий южного и северного сегментов установлены в изменении коэффициентов глиноземистости и железистости. По сравнению с северным сегментом глиноземистость вулканических пород базальт-андезитовой серии южного сегмента существенно возрастает в группе

андезибазальта и андезита и в целом следует тренду дифференциации трахибазальт-трахиандезитовой серии Северо-Минусинской и диабаз-кератофировой серии Южно-Минусинской впадин, т. е. отвечает железоносным вулканитам наложенных на субплатформенное основание рифтогенных структур (рис. 7 Б). В отличие от северного сегмента базальты и андезибазальты базальт-андезитовой серии южного сегмента характеризуются более низкими значениями коэффициента железистости. Изменение их железистости соответствует трендам дифференциации типичных среднекалиевых известково-щелочных серий развитых островных дуг (рис. 8 Б). Как уже отмечалось выше, снижение железистости в базальтоидах южного сегмента объясняется сбросом (ликвацией) натрий-кремний-железистых расплавов в промежуточных магматических очагах, явившихся главной причиной появления здесь крупнейших скарново-магнетитовых месторождений [39].

В южном сегменте среднекалиевая базальт-андезитовая серия завершается среднекалиевой дацит-риолитовой серией. На всех диаграммах эти серии отчетливо обособляются друг от друга по распределению SiO_2 , щелочности, известковистости, глиноземистости, железистости (рис. 1—8 Б). Все это дает основание выделить эти породы в самостоятельную дацит-риолитовую серию. Здесь мы можем говорить и о последовательном развитии серии (базальт-андезит-риолитовой), что на наш взгляд неверно. В Магнитогорском районе среднекалиевая серия так же завершается кислыми вулканическими породами. В обоих случаях, как в Магнитогорском так и в Валерьяновском прогибах, исходным субстратом (протолитом) формирования этих пород являются блоки сиалической континентальной коры. Генетическая связь между кислыми вулканитами и базальтоидами здесь отсутствует, т. е. кислые вулканиты не являются прямыми дифференциатами исходной базальтовой магмы, хотя влияние на них базальтовой магмы несомненно (источник тепла, летучей фазы, синтаксис и т. д.). Характеристика среднекалиевой дацит-риолитовой серии приводится ниже совместно с высококалиевой дацит-риолитовой серией, завершающей трахибазальт-трахиандезитовую серию южного сегмента. В северном сегменте Валерьяновского вулканического пояса породы дацит-риолитовых серий имеют ограниченное развитие по сравнению с южным сегментом. Тем не менее, тенденция их развития отчетливо проявлена во всех вулканических сериях (рис. 4—8).

4. Трахибазальт-трахиандезитовая серия.

Высококалиевые базальтоиды впервые были установлены в южном сегменте В. А. Заварицким в Качарском [3] и А. М. Дымки-

ным в Адаевском [6] рудных районах. Позднее они были вскрыты скважинами колонкового бурения в северном сегменте в районе пос. Куртамыш [40]. Главной особенностью высококалийных базальтоидов является более высокое содержание калиевого полевого шпата по сравнению с другими вулканическими породами Валерьяновского пояса. Частота встречаемости всех высококалийных вулканических пород в северном сегменте равна 20,8 % (от 409 хим. анализов), в южном — 19,0 % (от 189 хим. анализов). В работах указанных исследователей петрохимическое описание этой группы пород приводится без разделения их на серии. Нами среди высококалийных пород Валерьяновского пояса выделены две самостоятельные серии — трахибазальт-трахиандезитовая и шошонит-латит-трахитовая (табл. 1, 2).

В составе трахибазальт-трахиандезитовой серии выделены трахибазальты, трахиандезитобазальты, трахиандезиты. Завершается серия аналогичными по калиевости дацитами-риолитами (табл. 1, 2). Значительное обособление на петрохимических диаграммах группы кислых пород позволяет говорить о контрастном развитии этой серии, особенно в южном сегменте, что дает основание выделить кислую группу пород, аналогично среднекалийным породам, в высококалийную дацит-риолитовую серию, генетически не связанную с высококалийными базальтами (рис. 1, 2, табл. 1, 2).

На классификационных диаграммах фигуративные точки химического состава вулканитов трахибазальт-трахиандезитовой серии располагаются в поле высококалийных субщелочных пород (рис. 2, 3). Средний химический составов слагающих серию пород близок среднему составу вулканических пород позднекайнозойской высококалийной серии Камчатки (рис. 4) и трахибазальт-трахиандезитовой и диабаз-кератофировой серии Минусинских впадин (рис. 5). При этом вулканические породы южного сегмента по сравнению с северными характеризуются более высокими значениями коэффициента агпаитности и более отвечают дифференциатам трахибазальт-трахиандезитовой серии Северо-Минусинской впадины (рис. 5 Б).

В северном и южном сегментах вулканические породы трахибазальт-трахиандезитовой серии характеризуются наиболее низкими значениями коэффициента известковистости. Изменения известковистости вулканических пород в обоих сегментах соответствуют трендам известковистости трахибазальт-трахиандезитовой и диабаз-кератофировой сериям Минусинских впадин, что существенно отличает их от высококалийной серии зрелых островных дуг (рис. 6).

По глиноземистости все вулканы трахибазальт-трахиандезитовой серии (за исключением трахиандезитобазальтов северного сегмента) относятся к нормальной группе пород $(2Ca + Na + K) > Al$. При этом в северном сегменте глиноземистость их практически остается постоянной (рис. 7 А). В южном — она наиболее высокая у трахибазальтов (рис. 7 Б). В целом породы трахибазальт-трахиандезитовой серии северного сегмента характеризуются более высокой глиноземистостью по сравнению с породами южного сегмента, что объясняется различиями в составе их исходных магматических расплавов.

В южном сегменте изменения коэффициента железистости в породах трахибазальт-трахиандезитовой серии следуют вдоль кривой ликвидуса плавления базальта Килауеа 1921 при буфере QFM, что позволяет предполагать фракционирование родоначальной магмы в условиях пониженной фугитивности кислорода [48]. В северном сегменте линии ликвидуса плавления базальта Килауеа 1921 соответствует железистость трахиандезитобазальта. Железистость трахибазальта ближе к тренду дифференциации долерит-гранофировой серии Карру, а трахиандезита — к тренду дифференциации позднекайнозойской среднекалиевой серии Камчатки (рис. 8 А). Снижение значений коэффициента железистости в трахиандезитах северного сегмента до уровня известково-щелочной серии может быть объяснено сбросом железа в промежуточных магматических камерах при ликвации натрий-кремний-железистых расплавов. Не исключено формирование трахиандезитов из самостоятельных магматических очагов.

5. Шошонит-латит-трахитовая серия.

Высококалиевые вулканические породы шошонит-латит-трахитовой серии получили незначительное развитие как в южном (4,8 % от 189 хим. анализов) так и в северном (5,3 % от 409 хим. анализов) сегментах. Впервые серия была выделена авторами в северном сегменте, где она имеет полнодифференцированное развитие с полным набором главных типов пород. Здесь в составе ее развиты абсарокиты, шошониты, латиты, кварцевые латиты, трахиты, кварцевые трахиты (табл. 2). В южном сегменте в составе серии выделены высококалиевые трахибазальты, латиты и трахиты. Типичных шошонитов, где содержание $K_2O > Na_2O$, и кварцевых трахитов здесь не выявлено, но это не значит, что этих групп пород нет в южном сегменте. При более детальных исследованиях они могут быть обнаружены. В обоих сегментах в составе шошонит-латит-трахитовой серии не установлены высококалиевые риолиты (командиты), что существенно отличает ее от аналогичной серии Магнитогорского района [37].

Породообразующие минералы вулканических пород серии представлены плагиоклазом, калиевым полевым шпатом, клинопироксеном (авгитом), амфиболом, редко оливином, обычно, развитом в базальтах. В кислых дериватах серии появляется кварц и биотит.

Характерной особенностью шошонит-латит-трахитовой серии в Валерьяновском поясе, как и в других вулканических поясах, является нередко превышение калия над натрием. Это типично субщелочная высококалиевая серия. По соотношению K_2O/Na_2O относится к калиево-натриевой группе пород ($K_2O:Na_2O = 0,4-4$). На классификационных диаграммах фигуративные точки химического состава вулканических пород шошонит-латит-трахитовой серии располагаются в поле высококалиевых известково-щелочных и субщелочных групп пород, содержащих щелочные пироксены и амфиболы (рис. 2, 3).

На диаграмме K_2O/Na_2O-SiO_2 фигуративные точки химического состава слагающих серию пород располагаются вблизи тренда дифференциации позднекайнозойской шошонит-латит-трахитовой серии Камчатки и трахибазальт-трахиандезитовой серии Северо-Минусинской впадины (рис. 4). Как видно из рис. 4 в северном сегменте для большинства пород этой серии K_2O/Na_2O отношения значительно превышают подобные отношения аналогичной серии развитых островных дуг. По агапитности и известковистости породы шошонит-латит-трахитовой серии, как в южном так и в северном сегментах, сопоставимы с близкими по составу породами трахибазальт-трахиандезитовой и диабаз-кератофировой серий Минусинских впадин (рис. 5, 6). По глиноземистости ни в северном ни в южном сегменте у данной серии нет единого тренда дифференциации от трахибазальта до кварцевого трахита, соответствующего принятым эталонным сериям вулканических пород. В обоих сегментах трахибазальты относятся к наиболее обогащенной глиноземом группе пород. В северном сегменте глиноземистость пород ряда шошонит-латит-кварцевый трахит изменяется вдоль тренда дифференциации позднекайнозойской низкокалиевой серии Камчатки, т. е. близка глиноземистости толеитовой серии островной дуги (рис. 7 А). В южном — трахиты характеризуются максимальной недосыщенностью глинозема (рис. 7 Б). Указанное непостоянство глиноземистости вулканических пород шошонит-латит-трахитовой серии, вероятно, обусловлено разным составом исходных магматических расплавов.

Железистость вулканических пород шошонит-латит-трахитовой серии северного сегмента более отвечает тренду дифференци-

ции долерит-кератофировой серии Карру и кривой ликвидуса плавления базальта Килауеа 1921 при кварц-фаялит-магнетитовой буфере, а южного — тренду дифференциации позднекайнозойской высококалиевой серии Камчатки (рис. 8).

Итак, главные различия между шошонит-латит-трахитовыми сериями северного и южного сегментов заключаются в том, что в южном сегменте, в отличие от северного, породы этой серии характеризуются неполнодифференцированным развитием. Трахибазальты южного сегмента характеризуются меньшей агпаитностью и большей известковистостью по сравнению с трахибазальтами (абсарокитами, шошонитами) северного сегмента. Тренд дифференциации шошонит-латит-трахитовой серии северного сегмента по железистости более соответствует трендам дифференциации континентальных толеитов, южного — высококалиевым сериям развитых островных дуг.

6. Дацит-риолитовые серии.

По данным [3, 6, 7, 13, 21, 31 и др.] в пределах Валерьяновской вулканической зоны кислые вулканы имеют ограниченное развитие. К ним относятся дацитовые, риодацитовые, риолитовые порфиры, кератофиры, альбитофиры, кварцевые альбитофиры. Преобладают кварцевые порфиры. В южном сегменте данные породы выделены в дацит-риолитовый давидовский комплекс (серию, свиту), представленный субвулканическими и экструзивными телами штокообразной, дайкообразной формы, сопровождающимися иногда туфами кислого состава [11, 12]. Возрастной диапазон их формирования определяется условно в пределах C_{1v_2-s} , т. е. в объеме всего каменноугольного вулканического цикла. Вулканы давидовского комплекса в пределах южного сегмента наиболее широко развиты в Адаевско-Бенкалинском, Ломоносовско-Соколовском и Качарско-Давыдовском рудных узлах [6, 11, 12, 21, 31 и др.]. Для северного сегмента кислые вулканы не характерны. Они наблюдаются в керне единичных скважин в виде редко развитых небольших по мощности жильных тел на Глубоченском, Куртамышском, Ялымском и других участках [34, 35]. В тоже время здесь нельзя исключить более крупных проявлений кислого вулканизма.

Среди кислых вулканитов обоих сегментов нами выделены три петрохимические серии: среднекалиевая дацит-риолитовая, высококалиевая дацит-риолитовая и кератофир-кварцальбитофировая (табл. 2). Последовательность развития этих серий точно не установлена ни в южном ни в северном сегментах. Отмечается, что кварцевые порфиры и альбитофиры часто наблюдаются в одних и тех же вулканических телах (покровах) [3], а туфы кислых пород

подвержены альбитизации [13]. На основании сходства последовательности развития вулканизма с Магнитогорским районом [37] можно предположить, что в Валерьяновской поясе последовательность развития кислых вулканических серий аналогична последовательности развития таких же серий Магнитогорского рудного района, т. е. от среднекалиевой известково-щелочной к субщелочной высококалиевой и высоконатриевой субщелочной кератофир-кварцальбитофировой серии.

Мы не даем петрографического описания кислых вулканитов Валерьяновской пояса, так как они в той или иной степени охарактеризованы в многочисленных печатных работах [3, 6, 7, 13, 31 и др.].

На основании петрохимических диаграмм можно сделать вывод о том, что в Валерьяновском поясе, также как и в Магнитогорском рудном районе, кислые вулканиты завершают соответствующие им по щелочности вулканические серии. В то же время в отличие от Магнитогорского района они не имеют с ними непрерывного развития и оторваны от базальт-андезитовых и трахибазальт-трахиандезитовых серий, что подтверждается четким отделением по SiO_2 фигуративных точек химического состава дацитов-риолитов от указанных серий на всех используемых диаграммах южного и северного сегментов (рис. 1—8).

Среднекалиевые и высококалиевые дацит-риолитовые серии отчетливо разделяются по калиевости (рис. 5 Б). В то же время они характеризуются сходными значениями коэффициентов агпаитности, известковистости, глиноземистости (рис. 5, 6, 7). На диаграмме $f\text{-SiO}_2$ химический состав их более отвечает составу пород известково-щелочной серии Каскадных гор и позднекайнозойских лав Камчатки (рис. 8). Слабое развитие кислых вулканитов в северном сегменте не позволяет дать достаточно обоснованное различие петрохимических особенностей среднекалиевой и высококалиевой серий южного и северного сегментов.

7. Кератофир-кварцальбитофировая серия.

Наиболее полно развита в южном сегменте. Серия эта выделена по аналогии с кератофир-кварцальбитофировой серией Магнитогорского рудного района [37]. Как и в Магнитогорском районе в составе ее развиты кератофиры, кварцевые кератофиры, альбитофиры, кварцевые альбитофиры. Все эти породы характеризуются чрезвычайно высокой натриевостью, особенно в группе альбитофиров, тесно ассоциируют с рудным процессом и, как правило, развиты в пределах рудных полей [6, 7, 11, 12, 13 и др.]. С этапом становления этой серии, как в Магнитогорском рудном районе, так и в

Валерьяновском поясе, интенсивно проявлены процессы альбитизации. По данным [3, 6, 7, 13 и др.], альбитизации подвержены все породы раннекаменноугольного вулканического цикла, что позволяет относить кератофир-кварцальбитофировую серию и связанные с нею процессы альбитизации к наиболее поздним дифференциатам рудно-магматических систем [13].

По химическому составу вулканические породы кератофир-кварцальбитофировой серии характеризуются агпайтностью аналогичной кислым дифференциатам диабаз-кератофировой серии Ирбинского скарново-магнетитового месторождения Южно-Минусинской впадины, отличаясь от них более низкими K_2O/Na_2O отношениями, более низкой глиноземистостью и более высокой известковистостью (рис. 4 Б, 5 Б, 6 Б, 7 Б). В отличие от всех кислых вулканических пород Валерьяновского пояса на диаграмме $f-SiO_2$ фигуративные точки химического состава пород кератофир-кварцальбитофировой серии расположены вдоль кривой ликвидуса плавления базальта Килауеа 1921 при гематит-магнетитовом (Hm) буфере. Это дает основание предполагать, что исходный магматический расплав их фракционировал при повышенной фугитивности кислорода [48], т. е. при большом парциальном давлении воды по сравнению с другими вулканическими сериями. Последнее хорошо увязывается с широким развитием связанных с этой серией процессов натриевого метасоматоза и рудоотложения, подтверждая тем самым давно установленную генетическую связь альбитизации и железооруднения на многих скарново-магнетитовых месторождениях [6, 9 и др.].

Выводы

Валерьяновский вулканический пояс относится к субмеридиональной наложенной рифтогенной структуре, выполненной базальтоидами раннекаменноугольного вулканического цикла. Пояс разделен на северный и южный сегменты. В обоих сегментах развитие базальтоидного магматизма идет по единому сценарию, с сохранением объемов основных, средних и кислых пород.

В составе сегментов выделены последовательно развитые петрохимические серии: высокоизвестковистая толеитовая, известково-щелочные и субщелочные низкокалиевая (высоконатриевая), среднекалиевая, высококалиевая, шопонит-латит-трахитовая и кератофир-кварцальбитофировая. Толеитовая серия установлена в северном сегменте, кератофир-кварцальбитофировая — в южном. Остальные петрохимические серии развиты в обоих сегментах. Изменение калиевости вулканических пород объясняется разными

магматическими источниками их формирования. Исходный состав магматических расплавов низко-среднекалиевых серий относится к континентальным толеитам, высококалиевых — к субщелочным базальтам [39].

Вулканыты Валерьяновского пояса характеризуются более высокими содержаниями Na_2O и более низкими содержаниями CaO и значениями $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ отношений по сравнению с вулканидами аналогичных серий островных дуг и краевых вулканических поясов. Высокое содержание Na_2O во всех дифференциатах выделенных вулканических серий говорит о его первичном магматическом происхождении.

Петрохимический состав пород вулканических серий (особенно средне- и высококалиевых) по отношению $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, коэффициентам агпайтности, известковистости, глиноземистости сходен с составом железоносных вулканических серий наложенных эпиконтинентальных рифтогенных структур (Минусинские впадины и др.).

На основании проведенного сравнения геологических и петрохимических особенностей развития вулканических серий выявлены основные различия в развитии вулканизма северного и южного сегментов.

1. В северном сегменте начало интенсивного проявления вулканизма относится к C_{1v1} , в южном — к C_{1v2} .

2. В составе вулканических пород северного сегмента объемы проявления лавовых и пирокластических фаций близки между собой, в южном — резко преобладают породы пирокластических фаций.

3. В базальтах низкокалиевой, среднекалиевой и высококалиевой серий от северного к южному сегменту установлено снижение коэффициента общей железистости и увеличение коэффициента агпайтности. Снижение общей железистости базальтов от северного к южному сегменту объясняется изменением тренда кристаллизации исходных расплавов в промежуточных магматических очагах с толеитового на известково-щелочной тренд с одновременным отделением (ликвацией) натрий-кремний-железистых расплавов, явившихся основным источником формирования крупнейших железорудных месторождений Валерьяновского пояса.

На основании повышенной железистости и натриевости пород предлагается выделить эти серии из группы высокоглиноземистых базальтоидных серий в особый субщелочной высоконатриевый калий-натриевый тип, отделяя их от типичных низкокалиевых, среднекалиевых и высококалиевых известково-щелочных серий островных дуг и краевых вулканических поясов [37, 39].

Литература

1. **Богатиков О. А., Косарева Л. В., Шарков Е. В.** Средние химические составы магматических горных пород. М.: Недра, 1987. 152 с.
2. **Галкин П. С.** Некоторые вопросы геологии, вулканизма и металлогении Западного Тургая // Труды первого Уральского петрографического совещания. Т. 2. Свердловск, 1963. С. 137-142.
3. Геологическое строение Тургайского прогиба. Труды ВСЕГЕИ. Новая серия. Т. 53. Л., 1961. 295 с.
4. **Гладких В. С., Гусев Г. С., Песков А. И., Тарновецкий Л. Л.** Геохимия вулканических пород северо-запада Сибирской трапповой провинции (Норильский район) // Геохимия. 1994, № 3. С. 367—381.
5. **Душин В. А., Грязнов О. Н.** Петрохимия трахилипарит-трахибазальтовой формации восточного обрамления Северо-Миусинской впадины // Изв. ВУЗ. Геология и разведка. 1983, № 5. С. 34—42.
6. **Дымкин А. М.** Контактво-метасоматические месторождения железа южной части Главной рудной полосы Тургая. Новосибирск: Наука, 1962. 238 с.
7. **Дымкин А. М.** Петрология и генезис магнетитовых месторождений Тургая. Новосибирск: Наука, 1966. 168 с.
8. **Дымкин А. М.** Вулкано-плутонический магматизм и эндогенное железоруденение // Вулкано-плутонический магматизм и железоруденение. Новосибирск: Наука, 1970. С. 5—30.
9. **Дымкин А. М., Щербак В. М.** Особенности формирования метасоматических и вулканогенно-осадочных руд Тургая. Новосибирск: Наука, 1973. 188 с.
10. **Дымкин А. М., Полтавец Ю. А., Нечкин Г. С.** Геолого-петрологические особенности железоносных вулкано-плутонических ассоциаций. Препринт. Институт геологии и геохимии УНЦ АН СССР. Свердловск, 1982. 71 с.
11. Железорудные формации Зауралья. Северная часть Тургайского прогиба. Свердловск, 1987. 231 с.
12. Железосносные формации Зауралья. Средняя и южная части Тургайского прогиба. Свердловск, 1988. 255 с.
13. **Заварицкий В. А.** Вулканические породы кислого состава Качарского железорудного месторождения // Записки ВМО. Ч. 89, вып. 5. 1960. С. 513—522.
14. **Зопеншайн Л. П., Корищевский В. Г., Казьмин В. Г. и др.** Строение и развитие Южного Урала с точки зрения тектоники литосферных плит // История развития Уральского палеоокеана. М. 1984. С. 6—56.
15. **Иванов С. Н., Самаркин Г. И., Пумпянский А. А.** Природа Тюменско-Кустанайского прогиба // Доклады АН СССР. 1985. Т. 280, № 1. С. 170—173.
16. **Ивлев А. И., Ксенофонтов О. К., Успенский А. Н.** О связи скарновых железорудных месторождений с вулканитами как источниками рудного вещества // Рудообразование и его связь с магматизмом. Якутск, 1969. С. 131—132.
17. **Ивлев А. И., Ксенофонтов О. К., Фальков Ю. Г., Филатов А. В.** Валерьяновская андезит-диоритовая виле-намюрская вулкано-плутоническая формация Тургайского прогиба и ее рудоносность // Вулкано-плутонические формации и их рудоносность. Алма-Ата, 1969. С. 28—39.
18. **Кочергин И. А.** Сарбайское магнетитовое месторождение. Алма-Ата, 1971. 156 с.
19. **Ксенофонтов О. К., Ивлев А. И.** Магматизм и метаморфизм // Геология СССР. Т. 34. Тургайский прогиб. Кн. 2. М.: Наука, 1971. С. 9—141.

20. Лучицкий В. И. Вулканизм и тектоника девонских впадин Минусинского межгорного прогиба. М.: Изд АН СССР, 1960. 276 с.
21. Мазина Е. А., Ксенофонтов О. К. Особенности магматизма северной части Тургайского прогиба и основные этапы его развития // Геология Тургайского прогиба. Труды ВСЕГЕИ. Новая серия, вып. 43. Л., 1961. С. 105—147.
22. Мазина Е. А., Ксенофонтов О. К. Магматизм Тургайского прогиба и основные этапы его развития // Магматизм, метаморфизм и металлогения Урала. Тр. 1-го Уральского петр. совещания. Т. 1. Свердловск, 1963. С. 167—177.
23. Мартынов Ю. А. Геохимия базальтов активных континентальных окраин и зрелых островных дуг (на примере с-з Пацифика). Владивосток: Дальнаука, 1999. 215 с.
24. Мишин Л. Ф. Породные группы и серии краевых вулканических поясов. М.: Наука, 1982. 125 с.
25. Москаленко А. И., Руденко Н. И. Геологическая характеристика Соколовско-Сарбайского рудного района // Соколовское магнетитовое месторождение. Л., 1979. С. 9—38.
26. Петрология и геохимия островных дуг и окраинных морей. М.: Наука, 1987. 336 с.
27. Полтавец Ю. А. Петрохимические особенности железоносных вулканоплутонических комплексов Урала // Железородные формации Урало-Тянь-Шаньского пояса. Фрунзе, 1987. С. 116—127.
28. Полтавец Ю. А., Полтавец З. И. О геодинамической природе железородных зон Урала и их потенциальной рудоносности // Топорковские чтения. Вып. 3. Рудный, 1997. С. 36—50.
29. Попов В. К. Петрология палеоген-неогеновых вулканических комплексов восточного Сихотэ-Алиня. Владивосток, 1986. 153 с.
30. Поляков Г. В. Палеозойский магматизм и железоруднение юга средней Сибири. М.: Наука, 1971. 310 с.
31. Поротов Г. С., Веселов Е. В. О генезисе кислых пород Качарского месторождения // Геология и геофизика. 1972. № 3. С. 123—127.
32. Поротов Г. С. Магнетитовое оруденение и магматизм на примере Тургайского прогиба // Изв. ВУЗ. Геология и разведка. 1980. № 12. С. 67—73.
33. Поротов Г. С. Связь магнетитовых месторождений Тургайского прогиба с палеовулканическими постройками // Геология и генезис железородных месторождений. Свердловск, 1981. С. 25—34.
34. Пумпянский А. М. Каменноугольные отложения Курганского Зауралья // Топорковские чтения. Вып. IV. Рудный, 1999. С. 55—62.
35. Пумпянский А. М., Самаркин Г. И., Телегина Т. В. Базальтоидный вулканизм северной части Тюменско-Кустанайского прогиба // Уральский геологический журнал. 1998. № 3. С. 3—24.
36. Самаркин Г. И., Пумпянский А. А. Эволюция нижнекаменноугольного базальтоидного магматизма Валерьяновского вулканического пояса в связи с металлогенезом // Геология и мин.-сырьевые ресурсы Западно-Сибирской плиты и ее складчатого обрамления. Тюмень, 1983. С. 141—144.
37. Самаркин Г. И., Самаркина Е. Я. Раннекаменноугольные вулканические серии Магнитогорского железородного района (Южный Урал) // Уральский геологический журнал. 1999. № 4. С. 3—30.
38. Самаркин Г. И., Самаркина Е. Я. О рифтогенных условиях образования каменноугольных железоносных вулканоплутонических поясов Южного Урала // Второе Всерос. петрограф. совещание. Т. IV. Сыктывкар, 2000. С. 153—155.

39. Самаркин Г. И., Самаркина Е. Я., Пумпянский А. М. Геологические, петрохимические и геохимические особенности железоносных вулканических серий северной части Валерьяновского пояса (Урал) // Уральский геологический журнал. 2000. № 4. С. 85—122.

40. Смирнов Е. П. Субщелочные вулканические породы в карбоне Среднего Зауралья // Вопросы петрологии вулканитов Урала. Свердловск, 1975. С. 72—76.

41. Уокер Ф. и Польдерварт А. Долериты Карру Южно-Африканского Союза // Геология и петрография трапповых формаций. М.: ИЛ, 1950. С. 8—182.

42. Хунубая С. А. Высокоглиноземистая плагиотолеитовая формация островных дуг. М.: Наука, 1987. 268 с.

43. Цветков А. А. Магматизм и геодинамика Командорско-Алеутской островной дуги. М.: Наука, 1990. 324 с.

44. Штейнберг Д. С. О химической классификации эффузивных пород. Свердловск, 1964. 106 с.

45. Ярмолюк В. В., Коваленко В. И. Рифтогенный магматизм активных континентальных окраин и его рудоносность. М.: Наука, 1991. 263 с.

46. Carmichael I. S. E. The petrology of Thingmuli a Tertiary volcano in Eastern Iceland // Journ. Petrology. 1964. V. 5, N 3. P. 435—460.

47. Carmichael I. S. E., Turner F. J., Verhoogen J. Igneous petrology. New-York, 1974. 739 p.

48. Helz R. T. Phase relations of basalt in their melting range at $P_{H_2O} = 5$ kbar. Part II. Melt compositions // Journ. Petrology. 1976. V. 17. P. 139—193.

49. Peccerillo A., Taylor S. R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey // Contrib. Miner. and Petrol. 1976. V. 58, N 1. P. 63—83.