

УДК 550.42:552.11

## ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДЕВОНСКИХ ГРАНИТОИДОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ РУДНОГО АЛТАЯ

Ю.А. Туркин\*, К.Л. Новоселов

\*ОАО «Горно-алтайская экспедиция», с. Малоенисейское Алтайского края  
Томский политехнический университет  
E-mail: jura.tourkin@mail.ru

*Приводятся новые данные по геологическому строению и гранитоидному магматизму северо-западной, российской части Рудного Алтая. В результате геологических наблюдений, петролого-геохимических исследований с позиции тектоники литосферных плит впервые Новониколаевский, Алейский и Устьянский гранитоидные массивы выделены в составе сложного полифазного алейско-змеиногорского комплекса, сформированного из единого магматического центра активизированной континентальной окраины в средне-позднедевонское время.*

### **Ключевые слова:**

*Рудный Алтай, гранитоиды, интрузивный комплекс, геодинамические обстановки.*

### **Key words:**

*Rudny Altai, granitoids, igneous complex, geodynamic environments.*

### **Постановка задачи**

Широко развитый в Рудном Алтае гранитоидный магматизм девонского и более молодого возраста имеет достаточно длительную историю изучения [1–4]. По существующим представлениям [4, 5] в пределах российской северо-западной части Рудного Алтая девонские гранитоидные интрузивы объединяются в три магматических комплекса – алейский ( $D_1$ ), змеиногорский ( $D_3$ ) и устьянский ( $D_3$ ). Петротипами первого и последнего являются соответственно Алейский и Устьянский массивы, а петротипом змеиногорского комплекса принят массив Мохнатые Сопки к югу от г. Змеиногорска, не представляющий данный комплекс в полном его проявлении. Поэтому в качестве парапетротипического предлагается рассматривать изученный нами крупный Новониколаевский массив, образующий с Алейским и Устьянским массивами и массивом Мохнатые Сопки единый магматический ареал (рис. 1).

Алейский габбро-тоналит-плагиогранитный интрузивный комплекс, по данным С.П. Шокальского, Г.А. Бабина и др. [4, 5] фиксирует некое коллизийное событие, предшествовавшее формированию девонского окраинно-континентального вулканогенно-плутонического пояса. Обоснование раннедевонского возраста алейского комплекса, по существу единственное, основывается на наличии гальки сходных пород в базальных конгломератах лениногорской и кряковской свит Казахстана.

Однако, в работах В.С. Кузубного [6] и в последнее время исследованиями С.С. Долгушина и др. [7] приводятся убедительные доказательства того, что данные образования являются псевдоконгломератами, эруптивными и эксплозивными брекчиями.

Недостаточно обоснованным является выделение самостоятельного позднедевонского гранит-лейкогранитного устьянского комплекса. Критерием самостоятельности устьянского комплекса, по данным [4, 8], является их красный цвет и более высокие содержания кварца в сравнении с другими гранитоидами района. При этом предполагаемая граница между лейкократовыми гранитоидами змеиногорского и устьянского комплексов остается условной [9].

Таким образом, в регионе, насыщенном магматическими образованиями, в настоящее время отсутствует однозначное представление о формационной принадлежности девонских гранитоидных интрузивов, что во многом объясняется слабой изученностью их геологического строения и вещественного состава. Основная поставленная авторами задача – наряду с детальными полевыми наблюдениями геологического строения и положения Новониколаевского, Алейского и Устьянского гранитоидных массивов в структурах северо-запада Рудного Алтая, провести петролого-геохимические исследования пород и реконструировать с геодинамических позиций эволюцию их формирования в девонское время.

### Методика исследований

Полевые работы по геологическому доизучению площади масштаба 1:200000 были сосредоточены в северной части Алейского поднятия, занимающей до 40 % площади российской части Рудного Алтая. Наряду с детальным анализом материалов предшествующих геолого-съёмочных и тематических работ в регионе [3–6] изучены гранитоиды Алейского массива в бассейнах рек Моховушка, Дальняя и Ближняя Щелчиха, породы полифазного Новониколаевского массива в полосе от западных окраин с. Новониколаевка до горы Рассыпухи, а также лейкограниты Устьянского массива в районе с. Устьянка. Определенные трудности при изучении данных массивов сопряжены с их слабой обнаженностью, в связи с чем отбор каменного материала проводился из разрозненных естественных коренных выходов пород и из имеющихся карьерных выработок.

Все аналитические исследования проводились в Аналитическом центре Института геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск. Рентгенофлюоресцентный анализ основных петрогенных компонентов выполнен Н.М. Глухой и А.Н. Торьяник. Микроэлементный состав пород определен методом ICP-MS кандидатом химических наук И.В. Николаевой.

### Геологическое положение и петролого-петрохимическая характеристика гранитоидных массивов

Новониколаевский, Алейский и Устьянский гранитоидные массивы расположены в пределах северной части Алейского поднятия между девонскими вулканогенными прогибами. Северную часть поднятия занимает полифазный Новониколаевский интрузив, южнее и на юго-западе его сменяют соответственно плагиогранитный Алейский и лейкогранитовый Устьянский массивы (рис. 1).

**Новониколаевский массив** змеиногорского комплекса, площадью около 1000 км<sup>2</sup> локализован в северной периферии Алейского поднятия, имеет сложную форму, удлинённую более чем на 60 км в субширотном направлении вдоль Варшавского разлома, по которому он ограничен с севера и надвинут на структуры Рубцовской депрессии. В строении массива выделены породы пяти фаз внедрения, из которых наибольшим распространением (от общего объема пород змеиногорского комплекса) пользуются породы второй, третьей и четвертой фаз внедрения.

Породы **первой фазы** – габброиды и диоритоиды – слагают мелкие (до 1...1,5 км в поперечнике) овально-линзовидные, реже изометрические и неправильные ксеногенные тела в Новониколаевском массиве. Породы обычно интенсивно метаморфизованы и превращены в кварцсодержащие габбро-амфиболиты, менее изменённые разности представлены оливиновыми габбро-норитами, амфиболитизированными шпинелевыми габбро, габбро-анортозитами и габбро-пегматитами. Харак-

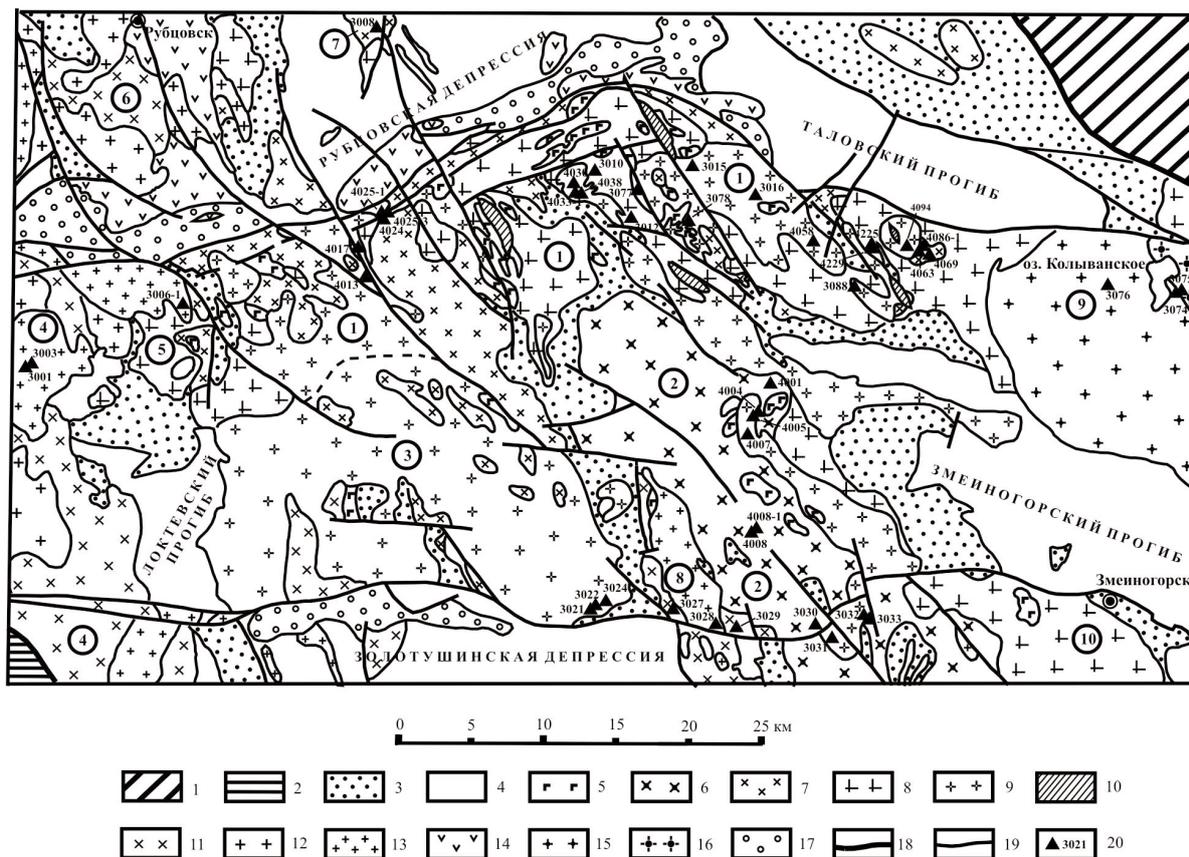
терны массивная, реже сланцеватая текстуры, габбровая, габброофитовая и пойкилоофитовая структуры, непостоянные (до лейкогаббро) содержания темноцветных минералов (20...60 об. %), представленных частично уралитизированным моноклинным пироксеном, буровато-зеленой и бурой роговой обманкой, и основного плагиоклаза – лабрадора (в диоритах – андезина). В составе аксессуарных ведущих минералов – зеленая шпинель, титаномагнетит, сфен, апатит.

Химический состав пород I фазы (табл. 1) характеризуется умеренной и низкой титанистостью, умеренной глиноземистостью ( $al' = 0,90...0,96$ ), повышенной железистостью ( $f = 1,5...1,8$  в габбро и 2,7 – в диоритах) при высокой степени окисленности железа и нормальной (до низкой) щелочностью и значительными вариациями содержаний калия ( $K_2O = 0,15...1,54$  %), фосфора ( $P_2O_5 = 0,03...0,29$  %), что позволяет относить данные габброиды к породам как толеитовой, так и известково-щелочной серий.

**Породы второй (главной) фазы** внедрения пользуются весьма широким распространением, слагая отдельные небольшие массивы, крупные поля в пределах Новониколаевского массива, и многочисленные мелкие тела и ксенолиты среди пород более поздних гранитоидных фаз (рис. 1). Представлены полным спектром пород с фаціальными переходами от кварцевых диоритов до амфибол-биотитовых меланогранитов. Доминирующим распространением пользуются кварцевые диориты, тоналиты, амфиболовые, биотит-амфиболовые, реже пироксеновые плагиограниты. Породы кварцдиорит-плагиогранитной группы характеризуются серой до зеленовато-серой окраской, массивной, редко гнейсовидной текстурой и среднезернистым строением с доминирующим развитием среди темноцветных минералов зеленой обыкновенной роговой обманки, полевошпатовая составляющая представлена зональным андезином и эпизодически встречающимися единичными зернами микроклина. В подчиненных количествах развит железистый биотит, эпизодически встречается диопсид. Среди аксессуарных минералов в больших концентрациях присутствует магнетит (до 50 кг/т), сфен, апатит, в меньших количествах – циркон, монацит, ксенотим, ортит.

Химический состав пород (табл. 1) характеризуется умеренной глиноземистостью ( $al'$  в тоналитах и гранодиоритах – 0,96, в плагиогранитах и гранитах – 1,02), умеренной и повышенной железистостью ( $f = 1,0...1,5$ ), низкой апгаитностью ( $K_{сп} = 0,55...0,59$ ), нормальной щелочностью с резким преобладанием Na над K. Для пород характерны высокий коэффициент известковистости ( $C = 0,43...0,33$ ) и слабо повышенные содержания фосфора, что типично для пород известково-щелочных серий.

**Породы третьей фазы** внедрения достаточно однородны и представлены массивными, редко гнейсовидными биотит-роговообманковыми и биотитовыми лейкоплагиогранитами. Характерны



**Рис. 1.** Схема геологического строения северной части Алейского поднятия Рудного Алтая. 1) каледонские структуры Горного Алтая; 2) герцинские структуры Иртышской зоны смятия; 3-4) структурно-вещественные комплексы Рудно-Алтайской зоны (3 – терригенный комплекс основания, 4 – девонский осадочно-вулканогенный комплекс); 5 – 10) девонский интрузивный комплекс Рудного Алтая (5 – габброиды и диоритоиды ранней фазы, 6 – тоналиты и плагиограниты Алейского массива, 7 – породы второй фазы змеиногорского комплекса, 8 – лейкоплагиограниты третьей фазы змеиногорского комплекса, 9 – лейкограниты четвертой фазы змеиногорского комплекса, в том числе Устьянского массива, 10 – калиевые лейкограниты пятой фазы змеиногорского комплекса); 11-13) интрузивные образования средне-позднекаменноугольного волчихинского (позднезмеиногорского) комплекса (11 – породы ранних фаз, 12 – граниты третьей фазы, 13 – лейкограниты четвертой фазы); 14) вулканогенные образования средне-позднекаменноугольного панфиловского комплекса; 15-16) интрузивные образования пермо-триасового синюшинского комплекса (15 – гранитоиды главной фазы, 16 – лейкограниты третьей фазы); 17) приразломные прогибы аккреционно-коллизийной и позднеколлизийной стадий; 18) границы структурно-формационных зон; 19) прочие разломы; 20) точки отбора и номера проб. Интрузивные массивы (цифры в кружках): 1) Новониколаевский; 2) Алейский; 3) Устьянский; 4) Локтевский; 5) Новоматвеевский; 6) Рубцовский; 7) Новосклюхинский; 8) Павловский; 9) Саввушкинский; 10) Мохнатые Сопки

фациально-структурные вариации до лейкоплагиогранит-порфиров с крупными таблитчатыми фенокристаллами олигоклаза, зонального олигоклаза-андезина, а также округлыми зернами кварца в аплитовидной основной массе породы. Темноцветные минералы представлены зеленой роговой обманкой, иногда замещенной амфиболом тремолит-актинолитового ряда и биотитом. Калиевый полевой шпат представлен микроклином, присутствует в мелких единичных зернах и содержание его увеличивается в калишпатизированных разностях. Среди аксессуарных минералов доминируют магнетит, сфен, ильменит, циркон, менее распространены ортит, гранат, монацит. Характерная особенность химизма лейкоплагиогранитов (табл. 1) – высокая кремнеземистость ( $\text{SiO}_2$  до 81,5 %) и повышенная натриевость (4,5) с широкими, как и для

пород второй фазы, вариациями содержаний  $\text{K}_2\text{O}$  (0,15...2,4 %), что обусловлено процессом наложенной калишпатизации при внедрении пород последующих фаз. Другие петрохимические показатели ( $al'$ ,  $C$ ,  $f$ ,  $\varphi$ ) практически не отличаются от таковых пород второй фазы и являются типичными для лейкократовых гранитоидов континентальных окраин.

**Породы четвертой фазы,** существенно лейкогранитового состава, пользуются широким распространением, слагают достаточно крупные штоки в Новониколаевском плутоне, имеют интрузивный контакт с породами предшествующих фаз внедрения и нередко содержат многочисленные мелкие ксеногенные тела пород более основного состава ранних фаз внедрения. Для лейкогранитов характерен достаточно простой петрографический со-

став с преимущественным распространением биотитовых и биотит-мусковитовых разностей. Структура пород варьирует от средне-крупнозернистой и слабо порфирированной до мелкозернистой и аплитовидной. Плагноклаз проявляет слабую зональность с постепенным переходом от олигоклаз-андезитового ядра к олигоклаз-альбитовой периферии.

Калиевый полевой шпат представлен микроклином, который часто образует пертитовые каемки вокруг зерен плагноклаза. Среди акцессорных минералов широко распространены магнетит, гематит, сфен, циркон, флюорит, реже отмечаются ильменит, апатит, монацит, ксенотим, гранат и др. Химический состав лейкогранитов характеризуется слабо повышенной глиноземистостью ( $al^{\pm}=1,04$ ), повышенной апгаитностью – 0,81, весьма высокой железистостью ( $f=0,85$ ) и окисленностью железа ( $\varphi=0,42$ ), очень низкой известковистостью ( $C=0,09$ ), пониженной калиевостью (0,38) при общем в среднем небольшом преобладании натрия над калием (табл. 1) и нормальной щелочности ( $Na_2O+K_2O=7,33\%$ ). По своим петрохимическим показателям лейкограниты весьма близки к гранитоидам А-типа.

**Породы пятой, заключительной фазы** внедрения развиты очень ограниченно и только в пределах Новониколаевского массива, слагая дайки и мелкие линзовидные тела массивных лейкогранитов

и аплитов, выделяющиеся розовато-серым и красноватым цветом, средне-мелкозернистой до аплитовидной, реже порфирированной и порфирированной структурой. Под микроскопом типична аллотриоморфнозернистая структура и кварц-полевошпатовый состав с редкими чешуйками биотита. Полевые шпаты представлены микроклином, микроклин-пертитом и в подчиненном количестве кислым плагноклазом, обычно представленным шахматным альбитом, иногда присутствующем в виде крупных кристаллов на фоне аплитовидной массы, что придает породе порфирированный облик. По химическому составу лейкограниты и аплиты характеризуются как умеренно-низкоглиноземистые ( $al^{\pm}=0,98$ ), низкоизвестковистые ( $C=0,04$ ) и высокожелезистые породы с повышенной щелочностью с существенно калиевой направленностью и высоким коэффициентом апгаитности – 0,94.

Таким образом, Новониколаевский массив, который предлагается рассматривать как парапетротип змеиногорского комплекса, в целом представляет собой сложную по составу и строению многофазную полифациальную породную ассоциацию, объединяющую особенности тоналит-плагногранит-гранодиоритовой (гранитоидов андезитового ряда) и лейкогранитовой формаций [6]. Характерная особенность рассматриваемого комплекса – преобладающее развитие пород лейкогранитоидного состава с количественным соотношением основ-

**Таблица 1.** Средний химический состав пород Новониколаевского, Алейского и Устьянского массивов, мас. %

| Порода                             | Фаза | n  | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | MnO  | MgO  | CaO   | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
|------------------------------------|------|----|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|
| Новониколаевский массив            |      |    |                  |                  |                                |                                |      |      |      |       |                   |                  |                               |
| Габбро-анортозиты                  | I    | 4  | 43,21            | 0,11             | 24,79                          | 3,70                           | 2,43 | 0,08 | 8,35 | 14,52 | 0,84              | 0,08             | 0,02                          |
| Габбро-пегматиты                   |      | 1  | 46,43            | 0,28             | 17,42                          | 1,86                           | 5,28 | 0,06 | 10,8 | 15,30 | 0,70              | 0,15             | –                             |
| Габбро                             |      | 5  | 49,47            | 0,93             | 16,33                          | 6,02                           | 4,91 | 0,14 | 6,95 | 10,58 | 2,12              | 0,86             | 0,13                          |
| Габбро-диориты                     |      | 2  | 53,08            | 0,96             | 15,02                          | 11,55                          | 0,18 | 5,23 | 8,39 | 3,20  | 0,62              | 0,11             |                               |
| Диориты                            |      | 1  | 54,40            | 1,04             | 15,00                          | 6,06                           | 5,24 | 0,12 | 4,16 | 3,55  | 2,36              | 0,77             | 0,14                          |
| Кварцевые диориты                  | II   | 9  | 60,92            | 0,73             | 15,60                          | 2,64                           | 3,21 | 0,12 | 2,80 | 5,77  | 3,32              | 1,51             | 0,15                          |
| Тоналиты и гранодиориты            |      | 10 | 66,02            | 0,55             | 15,24                          | 2,27                           | 2,72 | 0,11 | 1,34 | 4,03  | 4,05              | 1,66             | 0,16                          |
| Плагнограниты                      |      | 9  | 69,97            | 0,44             | 13,62                          | 1,98                           | 2,54 | 0,08 | 1,15 | 2,90  | 3,63              | 1,86             | 0,14                          |
| Граниты                            |      | 1  | 69,80            | 0,42             | 14,12                          | 1,55                           | 1,71 | 0,08 | 1,74 | 2,38  | 3,56              | 3,36             | 0,09                          |
| Лейкоплагнограниты                 | III  | 28 | 76,76            | 0,20             | 12,18                          | 2,03                           | 1,66 | 0,04 | 0,35 | 1,93  | 4,38              | 0,97             | 0,04                          |
| Лейкограниты                       | IV   | 28 | 76,21            | 0,13             | 12,34                          | 1,09                           | 1,35 | 0,04 | 0,24 | 0,99  | 3,79              | 3,54             | 0,04                          |
| Лейкограниты умеренно-щелочные     | V    | 6  | 76,32            | 0,09             | 11,91                          | 1,87                           |      | 0,02 | 0,11 | 0,50  | 3,02              | 5,81             | 0,02                          |
| Алейский массив                    |      |    |                  |                  |                                |                                |      |      |      |       |                   |                  |                               |
| Тоналит роговообманковый           |      | 1  | 65,20            | 0,44             | 16,78                          | 3,78                           | 0,07 | 1,67 | 4,57 | 5,21  | 0,84              | 0,14             |                               |
| Плагногранит катаклазированный     |      | 1  | 69,00            | 0,34             | 13,83                          | 4,87                           | 0,11 | 0,54 | 6,63 | 3,00  | 0,31              | 0,12             |                               |
| Плагногранит-порфир                |      | 1  | 70,07            | 0,28             | 15,67                          | 2,83                           | 0,06 | 0,73 | 2,95 | 4,29  | 2,08              | 0,13             |                               |
| Плагногранит биотитовый            |      | 2  | 69,08            | 0,35             | 15,88                          | 3,03                           | 0,05 | 1,10 | 3,25 | 4,77  | 1,07              | 0,16             |                               |
| Устьянский массив                  |      |    |                  |                  |                                |                                |      |      |      |       |                   |                  |                               |
| Лейкограниты нормальной щелочности |      | 14 | 76,98            | 0,12             | 12,29                          | 1,79                           | 0,08 | 0,13 | 0,54 | 3,23  | 4,22              | 0,03             |                               |
| Лейкограниты умеренно-щелочные     |      | 20 | 75,81            | 0,11             | 12,30                          | 2,14                           | 0,06 | 0,42 | 0,53 | 3,96  | 4,52              | 0,02             |                               |

Примечание. n – число анализов.

ных, средних и кислых пород 1:2:12, что близко к соотношениям этих петрохимических групп в каменевском вулканическом комплексе с широким развитием плагиориолитов, с которым змеиногорский комплекс обнаруживает устойчивые комагматические связи и может быть объединен в единую вулканоплутоническую ассоциацию.

Возраст змеиногорского комплекса определен как позднедевонский по прорыванию отложений заводской и каменевской свит живета – франа и определениям абсолютного возраста на смежных территориях Рудного Алтая, находящихся в интервале от 381 до 340 млн л [4, 5]. Однако наличие комагматических связей с вулканитами каменевского комплекса позволяют предполагать более раннее, позднеживетское время начала формирования породной ассоциации и в целом средне-позднедевонский возраст змеиногорского комплекса.

**Алейский гранитоидный массив** расположен южнее Новониколаевского плутона (рис. 1) и сливается с ним в центральной части Алейского поднятия. Массив прорывает и метаморфизует терригенные отложения силурийско-нижнедевонской корбалихинской толщи с образованием кварц-плагиоклаз-амфиболовых роговиков, имеет вытянутую в северо-западном направлении форму тела площадью около 300 км<sup>2</sup>. Большая часть его площади интродуцирована лейкогранитами и гранит-порфирами заключительных фаз змеиногорского комплекса. Наиболее распространенные и типичные породы массива представлены тоналитами и плагиогранитами, в участках, приуроченных к тектоническим зонам, появляются гнейсовидные биотитовые плагиограниты и роговообманковые тоналиты.

Минералого-петрографический состав типичных пород массива – тоналитов и плагиогранитов идентичен таковым породам второй фазы Новониколаевского массива: фемические породообразующие чаще представлены зеленой роговой обманкой, реже биотитом, салические – зональным андезином, как правило, с лабрадорным ядром. Среди аксессуаров наибольшие количества образуют магнетит, сфен, ильменит, меньшие концентрации – циркон, апатит. Химический состав гранитоидов проявляет полное сходство с тоналит-плагиогранитовой группой пород второй фазы Новониколаевского массива (табл. 1), и также относятся к известково-щелочной серии пород.

Типичные представители пород Алейского массива – тоналиты и плагиограниты, как и аналогичные породы второй фазы змеиногорского комплекса, характеризуются высокой известковистостью ( $C=0,43$  – в тоналитах и  $0,33$  – в плагиогранитах), агапайностью ( $K_{анн}=0,56$ ), повышенной глиноземистостью и железистостью, отличаясь от аналогичной группы пород Новониколаевского массива более высокими значениями натриевости. Абсолютный возраст алейских пород по разным источникам [4, 9] находится в интервале 375...389 млн л, что позволяет рассматривать Алей-

ский массив как одну из ранних фаз единого средне – позднедевонского габбро-гранитоидного комплекса Рудного Алтая тоналит-плагиогранит-лейкогранитовой формации.

**Устьянский гранитоидный массив**, площадью около 270 км<sup>2</sup>, занимает юго-западную часть Новониколаевского плутона, имеет овальную форму, слабо вытянутую в субширотном направлении вдоль Алейского разлома (рис. 1). Гранитоиды прорывают позднесилурийско-раннедевонские отложения корбалихинской толщи. Породы экзоконтакта интенсивно ороговикованы и обильно инъецированы гранитным материалом, представляя собой мигматитоподобные образования [5]. Массив сложен лейкогранитами с фациальными вариациями структур от мелко-, среднеравномернозернистых до порфириовидных и крупнозернистых. По петрографическому составу лейкограниты весьма близки к таковым породам четвертой и пятой фаз Новониколаевского плутона, отличаясь лишь несколько повышенными содержаниями калиевого полевого шпата.

Согласно проведенному анализу химического состава пород, в том числе с использованием данных [4, 5], лейкограниты по содержаниям щелочей разбиваются на две группы с ясно выраженными модальными значениями суммы щелочей: лейкограниты нормальной щелочности и умеренно-щелочные, что также сближает устьянские лейкограниты с соответствующими породами четвертой и пятой фаз внедрения Новониколаевского плутона. Как и лейкограниты нормальной щелочности четвертой фазы, описываемые породы характеризуются более высокими содержаниями SiO<sub>2</sub>, и более низкими – FeO и MgO (табл. 1). По своим петрохимическим характеристикам ( $al'=1,04$ ,  $C=0,05$ ,  $K_{анн}=0,88$ ) лейкограниты рассматриваемого массива отвечают лейкогранитам заключительных четвертой и пятой фаз змеиногорского комплекса и отличаются от них лишь слабо повышенными содержаниями K и пониженными значениями Ca. При этом в Новониколаевском массиве повышенно-калиевые умеренно-щелочные лейкограниты слагают отдельные фазовые мелкие тела и дайки, а в крупном Устьянском массиве они преобладают и находятся в фациальных взаимоотношениях с ультракислыми лейкогранитами нормальной щелочности.

Позднедевонский возраст устьянских лейкогранитов определяется из следующих данных: 1) гранитоиды массива прорывают позднесилурийско-раннедевонские отложения корбалихинской толщи и не оказывают контактового воздействие на вулканиты фаменского пихтового комплекса [8]; 2) в отложениях пихтовской свиты присутствуют гальки лейкократовых гранитов по петрографическому составу аналогичных таковым из Устьянского массива; 3) абсолютный возраст, выполненный U–Pb методом по цирконам, составляет  $372,1 \pm 5,6$  млн л [4], что отвечает позднему девону.

**Геохимические черты поведения редких и редкоземельных элементов и геодинамическая типизация гранитоидов**

Распространенность редких и редкоземельных (РЗЭ) примесных элементов в гранитоидах Ново-николаевского, Алейского и Устьянского массивов

представлена в табл. 2. Учитывая формы нахождения примесей в породах, редкие элементы объединены в три группы: сидерофильные (группа железа) – Sc, V, Cr, Co, Ni; халькофильные – включают Ga; наиболее многочисленная группа – литофильные, представленные Ba, Sr, Rb, Cs, Zr, Hf, Y, Nb,

**Таблица 2.** Средние содержания редких и редкоземельных элементов в гранитоидах Ново-николаевского, Алейского и Устьянского массивов, г/т

| Элементы и их отношения | Ново-николаевский |       |       |          |       |         |        | Алейский | Устьянский |
|-------------------------|-------------------|-------|-------|----------|-------|---------|--------|----------|------------|
|                         | II фаза           |       |       | III фаза |       | IV фаза | V фаза |          |            |
|                         | 1                 | 2     | 3     | 4        | 5     | 6       | 7      |          |            |
| Sc                      | 25,8              | 25,0  | 16,1  | 8,3      | 7,8   | 6,1     | 5,8    | 6,8      | 2,9        |
| V                       | 155,4             | 60    | 42,7  | 19,4     | 9,4   | 5,4     | 2,8    | 46,7     | 2,0        |
| Cr                      | 8,8               | 3,0   | 6,8   | 17,9     | 20,1  | 12,7    | 12,1   | 18,3     | 22,9       |
| Co                      | 15,0              | 10,3  | 5,7   | 2,8      | 2,5   | 2,4     | 1,5    | 6,8      | 2,0        |
| Ni                      | 9,5               | 10,0  | 8,2   | 13,8     | 14,1  | 10,0    | 13,8   | 5,5      | <5         |
| Ga                      | 18,6              | 17,8  | 14,6  | 11,9     | 13,3  | 13,0    | 14,4   | 17,8     | 17,0       |
| Rb                      | 25,5              | 10,4  | 6,1   | 7,7      | 36,6  | 79,3    | 142,5  | 14,5     | 146,0      |
| Cs                      | 0,3               | 0,4   | 0,2   | 0,2      | 0,5   | 1,0     | 1,5    | 0,4      | 1,0        |
| Ba                      | 369,1             | 314,0 | 173,8 | 187,9    | 359,4 | 476,9   | 90,8   | 125,5    | 205,8      |
| Sr                      | 246,7             | 209,0 | 230,0 | 203,6    | 110,0 | 61,8    | 13,8   | 397,4    | 21,0       |
| Zr                      | 250,9             | 148,0 | 145,0 | 110,2    | 126,8 | 104,0   | 94,8   | 115,6    | 155,5      |
| Hf                      | 6,4               | 4,0   | 3,9   | 3,4      | 4,2   | 3,8     | 4,8    | 3,2      | 6,4        |
| Nb                      | 9,1               | 8,3   | 7,3   | 10,6     | 8,6   | 8,5     | 12,5   | 4,3      | 21,6       |
| Ta                      | 0,5               | 0,44  | 0,5   | 0,9      | 0,6   | 0,7     | 1,2    | 0,3      | 1,5        |
| Y                       | 58,9              | 38,0  | 33,3  | 37,3     | 43,3  | 40,8    | 66,0   | 10,9     | 53,0       |
| Th                      | 3,0               | 3,8   | 4,5   | 7,2      | 7,3   | 8,8     | 11,6   | 4,2      | 14,2       |
| U                       | 1,1               | 1,0   | 1,2   | 1,4      | 1,3   | 1,6     | 1,7    | 1,0      | 2,9        |
| La                      | 16,9              | 18,6  | 17,2  | 25,6     | 20,1  | 22,0    | 18,5   | 13,5     | 26         |
| Ce                      | 41,6              | 39    | 35,1  | 52,4     | 40,0  | 44,2    | 23,3   | 25,9     | 57,5       |
| Pr                      | 6,4               | 5,0   | 4,4   | 6,2      | 5,5   | 5,6     | 6,1    | 3,2      | 8,0        |
| Nd                      | 26,8              | 18,9  | 17,0  | 22,9     | 21,0  | 21,3    | 23,9   | 11,2     | 31,7       |
| Sm                      | 6,8               | 4,2   | 3,6   | 4,5      | 4,6   | 4,8     | 6,5    | 2,3      | 7,9        |
| Eu                      | 1,2               | 1,1   | 0,9   | 0,6      | 0,7   | 0,5     | 0,4    | 0,7      | 0,4        |
| Gd                      | 8,0               | 4,8   | 4,2   | 4,8      | 5,4   | 5,4     | 6,9    | 2,3      | 8,0        |
| Tb                      | 1,3               | 0,8   | 0,7   | 0,8      | 0,9   | 0,9     | 1,3    | 0,3      | 1,4        |
| Dy                      | 8,3               | 5,0   | 4,5   | 5,1      | 5,8   | 5,8     | 8,5    | 1,6      | 8,4        |
| Ho                      | 1,8               | 1,1   | 1,0   | 1,1      | 1,3   | 1,3     | 1,9    | 0,4      | 1,8        |
| Er                      | 5,1               | 3,2   | 3,1   | 3,4      | 3,8   | 3,9     | 5,9    | 0,9      | 5,4        |
| Tm                      | 0,8               | 0,5   | 0,5   | 0,6      | 0,6   | 0,6     | 1,0    | 0,1      | 0,9        |
| Yb                      | 4,9               | 3,3   | 3,2   | 3,7      | 4,1   | 4,1     | 6,9    | 1,0      | 5,9        |
| Lu                      | 0,7               | 0,5   | 0,5   | 0,5      | 0,6   | 0,6     | 1,0    | 0,2      | 0,8        |
| Ba/Sr                   | 1,49              | 1,50  | 0,75  | 0,92     | 3,26  | 7,71    | 6,57   | 0,31     | 9,90       |
| Rb/Sr                   | 0,10              | 0,05  | 0,03  | 0,04     | 0,33  | 1,28    | 10,32  | 0,04     | 6,90       |
| Co/Ni                   | 1,57              | 1,03  | 0,69  | 0,20     | 0,17  | 0,24    | 0,11   | 1,23     | 0,33       |
| Sc/Y                    | 0,43              | 0,65  | 0,48  | 0,22     | 0,18  | 0,15    | 0,08   | 0,62     | 0,06       |
| Nb/Ta                   | 18,20             | 18,86 | 14,60 | 11,77    | 14,33 | 12,14   | 10,41  | 14,20    | 14,50      |
| Zr/Hf                   | 39,20             | 37,00 | 37,18 | 32,41    | 30,19 | 27,36   | 19,75  | 36,12    | 24,30      |
| Th/U                    | 2,72              | 3,80  | 3,75  | 5,14     | 5,61  | 5,50    | 6,82   | 4,20     | 5,40       |
| Ce/Yb                   | 8,50              | 11,80 | 10,90 | 14,20    | 9,80  | 10,80   | 3,40   | 26,00    | 9,75       |
| La/Lu                   | 24,14             | 40,43 | 34,40 | 51,20    | 33,50 | 36,66   | 18,50  | 79,41    | 33,10      |
| Y/Yb                    | 12,02             | 11,51 | 10,41 | 10,08    | 10,56 | 9,95    | 9,56   | 10,90    | 9,10       |

Цифрами обозначены: 1) кварцевые диориты калишпатизированные; 2) тоналиты; 3) плагиограниты; 4) лейкоплагиограниты; 5) лейкоплагиограниты калишпатизированные; 6) лейкограниты нормальной щелочности; 7) лейкограниты умереннощелочные; 8) лейкограниты

Ta, U, Th. Для характеристики содержаний редких элементов используется коэффициент концентрации ( $K_k$ ), представляющий отношение содержаний примесного элемента в породе к кларку этого элемента в средних или кислых породах по А.П. Виноградову [10].

*Элементы группы железа* образуют изоморфную примесь в аксессуарном титаномагнетите, железосодержащих породообразующих алюмосиликатах и накопление в породах Sc, V, Cr, Co, Ni определяется содержанием минералов-концентраторов и носителей этих сидерофилов. Избыточные концентрации ( $K_k > 1$ ) в породах второй, главной, фазы внедрения Новониколаевского массива образуют все сидерофильные элементы за исключением Cr ( $K_k < 1$ ). Sc предпочтительно накапливается в калишпатизированных кварцевых диоритах и тоналитах ( $K_k$  соответственно 10,3 и 8,3).

Обращает внимание резко дефицитное содержание Ni в калишпатизированных кварцевых диоритах ( $K_k = 0,17$ ), в то время как в тоналитах и плагиогранитах концентрации этого элемента находятся в пределах или несколько превышают величину кларка. В кислых дифференциатах последующих фаз внедрения по мере увеличения парциального давления кислорода, изменения кислотности-щелочности и других физико-химических параметров происходит перераспределение примесных элементов группы железа. В структуре магнетита  $V^{5+}$  практически полностью вытесняется  $Fe^{3+}$ , заметно снижаются концентрации Sc ( $K_k = 1,9...2,8$ ); в лейкоплагиогранитах заключительных инъекций расплава на фоне понизившихся концентраций Co, стабильно накапливается Ni ( $K_k = 1,25...1,75$ ), заметно возрастает активность Cr, содержание которого приближается к кларку ( $K_k = 0,5...0,9$ ).

Таким образом, сидерофильные элементы (Sc, V, Ni, Co) накапливаются в наиболее ранних высокотемпературных дифференциатах магматического расплава и могут использоваться как дополнительный критерий при установлении возрастных взаимоотношений между отдельными интрузивными фазами.

*Халькофильный элемент* Ga распределяется в породах равномерно, образует близкие к кларку содержания ( $K_k = 0,7...0,9$ ), обладая кристаллохимическим сродством к Al, рассеивается в породообразующих алюмосиликатах.

Редкие *элементы-примеси литофильной группы* (Ba, Sr, Rb, Cs, Zr, Hf, Y, Nb, Ta, U, Th) в породах Новониколаевского плутона в основном образуют относительно кларка низкие концентрации, в их распределении в гранитоидах различных фаз внедрения проявляются определенные закономерности.

Щелочные примесные элементы Ba, Rb, Cs накапливаются в калишпатах и биотите, Sr концентрируется в минералах Са, главным образом в плагиоклазе, а также в аксессуарном апатите. Тесная кристаллохимическая связь Ba с К хорошо проявляется в калишпатизированных разностях пород

– с увеличением калиевоности гранитоидов возрастает содержание Ba (табл. 2). Sr образует повышенные концентрации в породах ранней фазы внедрения ( $K_k = 0,70...0,75$ ), в том числе в алейских плагиогранитах, где содержание этого элемента несколько варьирует, достигая в наиболее известковистых разностях пород кларковых величин. Более подвижные редкие щелочные металлы Rb и Cs проявляют четкую тенденцию, особенно Rb, к накоплению вместе с К в поздних дифференциатах гранитоидного расплава вследствие дополнительного привноса их из глубинного очага.

С поступлением поздних инъекций расплава, обогащенных К и редкими щелочными металлами, тенденцию к накоплению отчетливо проявляют Nb, Ta, Y, а также U и Th. Zr и кристаллохимически родственный ему Hf предпочтительно накапливаются в тоналитах и плагиогранитах ранней фазы внедрения, приближаясь к кларковому содержанию в калишпатизированных кварцевых диоритах, в породах последующих фаз содержание Zr и Hf заметно снижается (табл. 2). Несколько не согласуются повышенные концентрации Zr и Hf в породах главной фазы с низкими содержаниями аксессуарного циркона – главного минерала-носителя и концентратора этих элементов.

Обращает внимание содержание и распределение в породах Y, который образует избыточные концентрации в породах всех рассматриваемых интрузивных фаз ( $K_k = 1,2...1,95$ ) за исключением плагиогранитов Алейского массива, где Y относится к дефицитным примесным элементам. В породах Y находится в форме самостоятельной минеральной фазы – аксессуарного ксенотима, который в единичных зернах встречается во всех породах кроме алейских плагиогранитов; в лейкогранитах Устьянского массива ксенотим часто устанавливается в ассоциации с иттрофлюоритом. Кроме того, широко известны химическое и структурное родство Y с лантаноидами, особенно цериевой группы, что приводит к совершенному изоморфизму Y с РЗЭ и соответственно к его накоплению с лантаноидами, а также с Zr и Sc [11].

Содержание Nb в породах доминирует над Ta, распределяются элементы в дифференциатах различных фаз равномерно, образуют низкие концентрации, лишь в лейкогранитах Устьянского массива отмечается накопление Nb ( $K_k = 1,2$ ). Как изоморфная примесь Nb и Ta отмечены в титаносодержащих аксессуориях – ильмените, рутиле, в устьянских лейкогранитах, кроме того, установлены единичные зерна ильменорутила. Радиоактивные примесные элементы U и Th в породах имеют низкие содержания ( $K_k = 0,3...0,4$ ). Проявляется тенденция к накоплению U и Th в породах заключительных фаз по мере возрастания их калиевоности, в том числе и в калишпатизированных лейкогранитах Устьянского массива, и коэффициенты концентраций U и Th несколько превышают значения кларка или близки к нему ( $K_k U = 1,2$ ,  $K_k Th = 0,8$ ). В породах поздних фаз, в том числе в устьянских лейкогранитах

тах, присутствует акцессорный торит – минерал-носитель и концентратор Th и U.

Гранитоиды, принадлежащие различным интрузивным фазам Новониколаевского массива, достаточно надежно индивидуализируются также коэффициентами отношений элементов, которые можно использовать в качестве дополнительных типоморфных признаков при установлении возрастных взаимоотношений между отдельными интрузивными фазами (табл. 2). Так, коэффициенты отношений Rb/Sr, Sc/Y, Co/Ni и др. плагиогранитов Алейского массива весьма близки к тоналитам и плагиогранитам главной фазы внедрения Новониколаевского плутона, отличаясь от них более низкой величиной отношения Ba/Sr. Лейкограниты Устьянского массива, как и гранитоиды заключительных фаз внедрения Новониколаевского массива, характеризуются близкими коэффициентами таких отношений как Sc/Y, Rb/Sr, Co/Ni, Zr/Hf, Th/U, но отличаются более высокими значениями коэффициентов Ba/Sr, Nb/Ta, Zr/Hf. Определенные коррективы в распределение примесных элементов и соответственно в величины коэффициентов их отношений вносят многие факторы: геолого-структурное положение магматических тел, их фаціальная принадлежность, постмагматические изменения и другие.

В изученных гранитоидах электронно-микроскопическими исследованиями установлены такие акцессорные минералы-концентраторы и носители лантаноидов как монацит, ксенотим, апатит, ортит, торит, паризит, сфен. Широко распространенный в породах акцессорный циркон не содержит примесей РЗЭ, а также Y. Присутствие редкоземельных элементов в гранитоидах определяется, главным образом, повышенным содержанием кристаллохимически родственного лантаноидам Y, который играет ведущую роль в формировании самостоятельных минеральных фаз и структурных примесей в Ca-содержащих минералах.

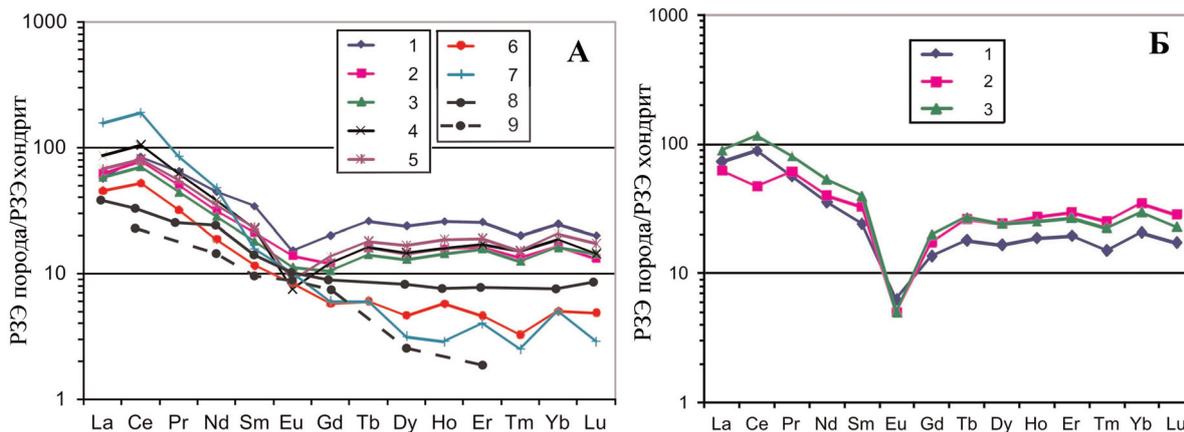
В распределении РЗЭ в породах рассматриваемых массивов наряду с общей тенденцией поведения лантаноидов – доминирование легких над тяжелыми, повышенные содержания в кварцевых диоритах тяжелых РЗЭ в сравнении с гранитоидами, увеличение роли легких лантаноидов в кислых породах последующих III и IV фаз внедрения, проявляются особенности, индивидуализирующие отдельные группы пород (табл. 2). Так, лейкограниты заключительной фазы Новониколаевского плутона выделяются более низкими концентрациями легких РЗЭ и резко возросшими – тяжелых. Сопоставляемые с ними устьянские лейкограниты также обогащены тяжелыми лантаноидами, но более насыщены легкими и по их содержанию весьма близки к породам – дифференциатам IV фазы. Обращают внимание аномально низкие концентрации тяжелых лантаноидов и заметно пониженные – легких в плагиогранитах Алейского массива, что заметно отличает их от тоналитов и плагиогранитов главной фазы Новониколаевского плутона.

Диаграмма распределения РЗЭ (рис. 2) демонстрирует близость пород II и III фаз Новониколаевского плутона – незначительный разброс содержаний лантаноидов, слабо выраженный Eu-минимум. Породы Алейского массива, в целом сохраняя тенденции распределения тоналитов и плагиогранитов главной фазы, отличаются от новониколаевских пород аномально пониженными содержаниями тяжелых лантаноидов (рис. 2, А). По распределению РЗЭ плагиограниты Алейского массива сопоставимы с гранитоидами тоналит-гранодиоритовой формации северочилийских Анд [12] и трондjemитами континентальных окраин по Дж.Г. Арт [13]. На диаграмме (рис. 2, Б) отчетливо проявляется близость, особенно по тяжелым лантаноидам, глубокому Eu-минимуму, устьянских лейкогранитов и лейкогранитов IV и V фаз Новониколаевского массива.

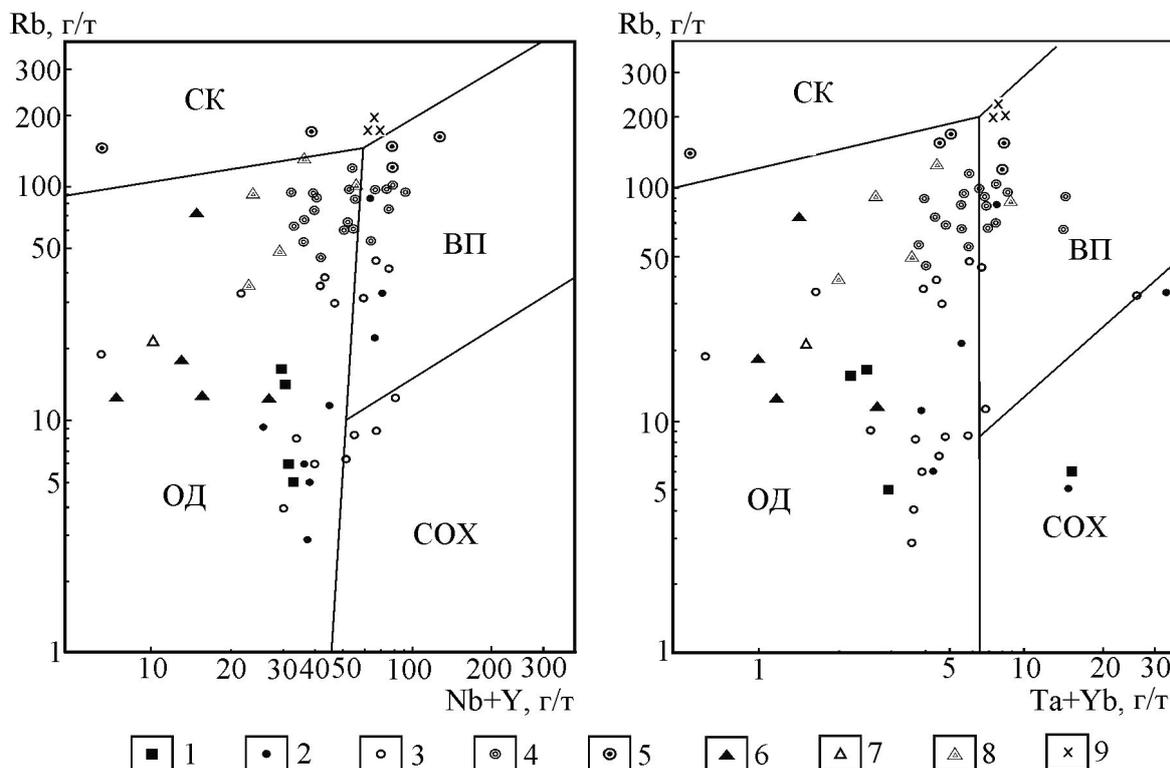
На дискриминантных диаграммах Дж. Пирса [14] (рис. 3) породы главной фазы Новониколаевского массива ложатся в поле островных дуг и активно-континентальных гранитоидов, приближаясь к полям внутриплитных и срединно-океанических хребтов. По петрохимическим особенностям (повышенные калиево-железистость и глиноземистость) породы второй фазы достаточно хорошо идентифицируются по схеме геодинамической типизации гранитоидов [15] с островными и континентальными дугами, располагаясь близко к полям рифтогенных гранитоидов. Фигуративные точки высоконатриевых лейкогранитов III фазы концентрируются в поле островных дуг, а калишпатизированные их разновидности смещены в область составов толеитовых гранитов срединно-океанических хребтов. На диаграмме Г. Тишендорфа и В. Пальхена [16] большая часть лейкогранитов, как и породы главной фазы, располагаются в поле мантийных гранитоидов толеитовой серии (рис. 4).

Породы IV фазы концентрируются на границе полей островодужных и внутриплитных гранитоидов, что характерно для активно-окраинных континентальных образований и по своим петрохимическим и геохимическим особенностям отвечают гранитоидам А-типа, и на диаграмме (рис. 4) ложатся в поле интрузивных гранитоидов океанической коры. Фигуративные точки лейкогранитов V фазы Новониколаевского массива располагаются на границе раздела полей островодужных, коллизионных и внутриплитных гранитоидов, обнаруживая по ряду петрохимических и геохимических показателей (повышенные калиево-железистость, коэффициент апаитности, высокие показатели Rb/Sr и пониженные Ce/Yb и других отношений) близость к характеристикам гранитоидов А-типа, и видимо фиксируют инъекции наиболее фракционированных (и возможно наиболее контаминированных) порций гранитоидной магмы Новониколаевского плутона. На диаграмме (рис. 4) они ложатся в поле автохтонных гранитоидов континентальной коры.

Породы Алейского массива на дискриминантных диаграммах (рис. 3) располагаются в полях



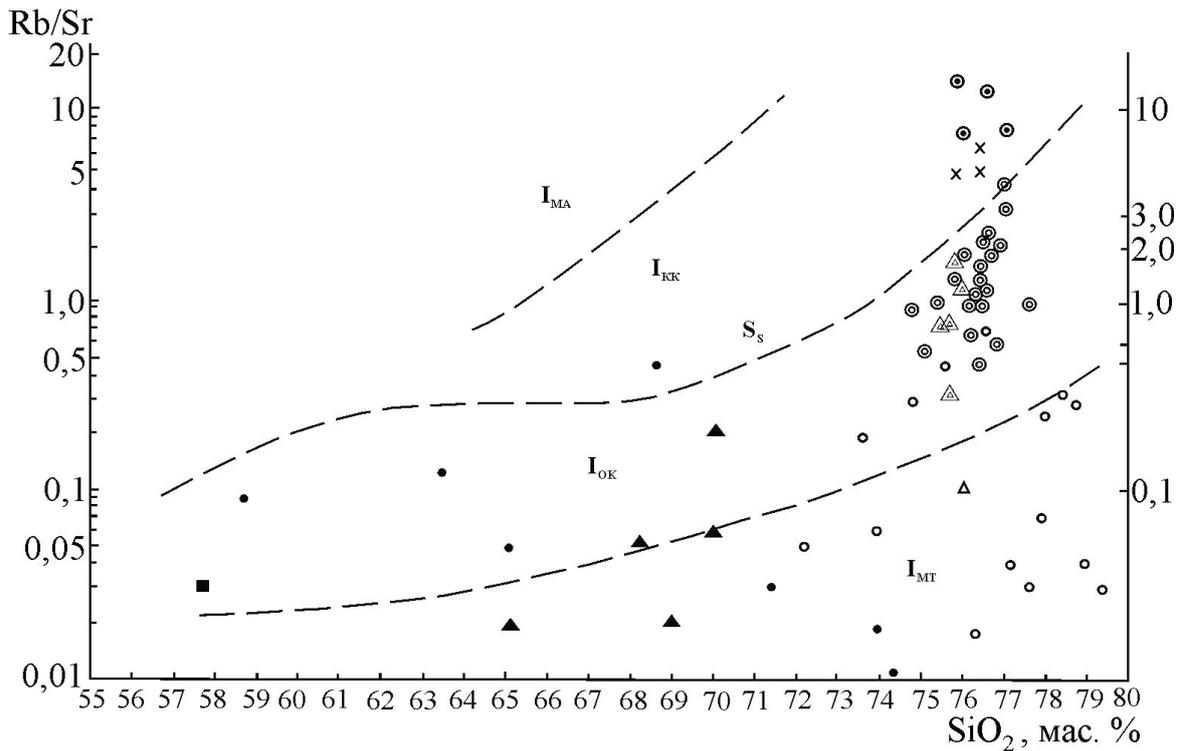
**Рис. 2.** Распределение РЗЭ в гранитоидах Новониколаевского, Алейского и Устьянского массивов: А – породы Новониколаевского и Алейского массивов. Новониколаевский массив: 1) кварцевые диориты калишпатизированные II фазы; 2) тоналиты II фазы; 3) плагиограниты II фазы; 4) лейкоплагиограниты III фазы; 5) лейкоплагиограниты калишпатизированные III фазы; Алейский массив: 6) плагиограниты; 7) лейкоплагиограниты; типовые обстановки: 8) гранитоиды тоналит-гранодиоритовой формации северочилийских Анд [12]; 9) трондъемиты континентальных окраин по Дж.Г. Арт [13]. Б – породы Новониколаевского и Устьянского массивов: Новониколаевский массив: 1) лейкограниты нормальной щелочности IV фазы; 2) лейкограниты умеренно-щелочные V фазы; Устьянский массив: 3) лейкограниты (среднее)



**Рис. 3.** Дискриминантные диаграммы Дж. Пирса [14] гранитоидов Новониколаевского, Алейского и Устьянского массивов. Породы Новониколаевского массива: 1) I фазы; 2) II фазы; 3) III фазы; 4) IV фазы; 5) V фазы. Породы Алейского массива: 6) плагиограниты; 7) лейкоплагиограниты; 8) лейкограниты. Породы Устьянского массива: 9) лейкограниты. Поля составов гранитоидов: СОХ – срединно-океанических хребтов; ОД – островных дуг и активных континентальных окраин; СК – синколлизонных; ВП – внутриплитных

гранитоидов островных дуг и активных континентальных окраин, слабо дистанцируясь от аналогичных петрохимических типов пород II фазы Новониколаевского массива в левую часть поля островных дуг, а по содержаниям и спектрам распределения РЗЭ идентифицируются с трондъемитами

и породами тоналит-гранодиоритовой формации Анд (рис. 2). Однако петрохимические и геохимические характеристики пород Алейского массива несколько своеобразны и не позволяют однозначно идентифицировать их с каким-либо из известных типов гранитоидов. Низкие содержания в по-



**Рис. 4.** Диаграммы Rb/Sr – SiO<sub>2</sub> Г. Тишендорфа и В. Пальхена [16] для пород Новониколаевского, Алейского и Устьянского массивов. Поля гранитоидов: I<sub>MT</sub> – интрузивные мантийные гранитоиды толеитовой серии, I<sub>OK</sub> – интрузивные гранитоиды океанической коры, I<sub>KK</sub> – интрузивные гранитоиды континентальной коры (коллизионные гранитоиды), I<sub>MA</sub> – интрузивные мантийные гранитоиды щелочной серии (внутриплитные граниты), S<sub>S</sub> – in situ – автохтонные гранитоиды континентальной коры. Условные знаки см. рис. 3

родах K, Rb, Ba, Nb, Ce проявляют признаки плагиогранитов М-типа или гранитоидов толеитового ряда (рис. 4), но низкие концентрации Y и повышенные – Sr, Ga, высокие величины отношений Ce/Yb и низкие Rb/Sr приближают алейские плагиограниты (как и породы второй фазы Новониколаевского массива) к гранитоидам I-типа (рис. 4).

В то же время петрогеохимические особенности алейских плагиогранитоидов (высокие содержания Na, Ba, Sr и низкие – Y и тяжелых РЗЭ) позволяют рассматривать их как адакиты, сформированные при значительном участии процессов плавления субдуцируемой океанической коры. То есть в той же геодинамической обстановке, что и пород второй – третьей фаз змеиногорского комплекса, но с другими вариациями пропорций мантийной, «слэбовой» и надсубдукционной составляющих. При этом Алейский массив фиксирует центральную часть магматического очага с максимальными объемами плагиогранитных выплавов (наиболее «чистых»), а Новониколаевский – его периферию.

Лейкограниты Устьянского массива по своим петрохимическим и геохимическим показателям, как и породы IV и V фаз Новониколаевского массива, проявляют признаки гранитоидов А-типа, однако по концентрациям Rb, Nb, Zr, Ce, Ga более близки коллизионным образованиям лейкогранитовой формации. На дискриминантных диаграм-

мах фигуративные точки пород часто накладываются на новониколаевские лейкограниты V фазы и ложатся в поле внутриплитных гранитоидов, приближаясь к границе поля коллизионных гранитоидов (рис. 3, 4), что не оставляет сомнений в принадлежности лейкогранитов Устьянского массива к породам заключительных IV–V фаз Новониколаевского массива.

#### Заключение

Результаты изучения минералого-петрографического состава, в том числе аксессуарных минералов, геохимических особенностей редких и редкоземельных элементов девонских гранитоидов Новониколаевского, Алейского и Устьянского массивов, занимающих большую часть площади северо-запада Рудного Алтая, однозначно указывают на их принадлежность к единому магматическому комплексу. Гнейсовидные тоналиты и плагиограниты Алейского массива по своему составу уверенно идентифицируются с подобными породами второй фазы Новониколаевского массива, принадлежащего змеиногорскому комплексу, и представляют собой в целом надсубдукционные образования с варьирующим количеством вещества расплавленной субдуцированной океанической коры. Лейкограниты Устьянского массива, также ранними работами рассматривавшиеся в составе само-

стоятельного устьянского комплекса, по минерало-петрографическим и геохимическим особенностям аналогичны лейкогранитам заключительных четвертой и пятой фаз Новониколаевского плутона змеиногорского комплекса.

Следовательно, все девонские гранитоиды российской части Рудного Алтая должны рассматриваться в составе единого полифазного магматического комплекса. Принимая во внимание выделенный в свое время на территории Рудного Алтая республики Казахстан змеиногорский гранитоидный комплекс более молодого возраста ( $C_2-P_1$ ) [2, 7, 12], целесообразно объединить все девонские гранитоиды российской части Рудного Алтая в единый полифазный алейско-змеиногорский комплекс. Наибольшее распространение в составе данного комплекса имеют породы кварц-диорит-плагиогранитного состава (вторая, главная, фаза внедрения) и лейкограниты нормального ряда (четвертая фаза комплекса). Несколько меньше распространены лейкоплагиограниты третьей фазы и значительно меньше развиты умеренно-щелоч-

ные калиевые лейкограниты пятой, заключительной фазы внедрения, не характерны для комплекса гранодиориты и граниты.

В целом состав и геологическое положение алейско-змеиногорского комплекса позволяет рассматривать его как типовое проявление тоналит-плагиогранит-лейкогранитовой формации окраинно-континентальных вулканоплутоновых поясов, объединяющей черты тоналит-плагиогранит-гранодиоритовой и лейкогранитовой формаций.

Средне-позднедевонский возраст алейско-змеиногорского комплекса установлен по данным определения абсолютного возраста типовых пород (389...375 млн л) [4] и комагматичностью комплекса с девонскими вулканитами формации натриевых риолитов и базальт-риолитовой формации среднего – позднего девона. Все три изученных гранитоидных массива представляют собой индивидуализированные части крупного плутона, сформированного из единого магматического центра активизированной континентальной окраины в средне – позднедевонское время.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нехорошев В.П. Геология Алтая. – М.: Госгеолтехиздат, 1958. – 262 с.
2. Кузубный В.С., Стучевский Н.И., Бедарев Б.П. и др. Прииртышский рудный район Алтая (геология и особенности металлогении). – Алма-Ата: Изд-во Казахского научно-исследовательского института минерального сырья, 1975. – 238 с.
3. Геологическая карта СССР. Масштаб 1:1000000 (новая серия). Объяснительная записка. Лист М-(44), -45. – Усть-Каменогорск, 1980. – 145 с.
4. Корреляция магматических и метаморфических комплексов западной части Алтае-Саянской складчатой области / С.П. Шокальский, Г.А. Бабин, А.Г. Владимиров, С.М. Борисов и др. [Гл. ред. А.Ф. Морозов]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2000. – 187 с.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. Изд. 2-е. Серия Алтайская. Лист М-44-ХI (Змеиногорск). Объяснительная записка. – СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2001. – 174 с.
6. Кузубный В.С. Магматические формации Юго-Западного Алтая и их металлогения. – Алма-Ата: Изд-во «Наука» КазССР, 1975. – 342 с.
7. Долгушин С.С., Хомичев В.Л. Псевдоконгломераты: природа, диагностика, рудно-петрологическая зональность. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2007. – 91 с.
8. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. Изд. 2-е. Серия Алтайская. Лист М-44-Х (Горняк). Объяснительная записка. – СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2001. – 219 с.
9. Туркин Ю.А. Тоналит-плагиогранит-лейкогранитовая формация Рудного Алтая // Природные ресурсы Горного Алтая. – 2009. – № 2. – С. 70–79.
10. Войткевич Г.И., Кокин А.В., Мирошников А.Е., Прохоров В.Г. Справочник по геохимии. – М.: Недра, 1990. – 480 с.
11. Макаров Е.С. Изоморфизм атомов в кристаллах. – М.: Атомиздат, 1973. – 288 с.
12. Петрологическое изучение магматических ассоциаций коллизионных обстановок. – М.: Роскомнедра, Геокарт, ВСЕГЕИ, 1995. – 217 с.
13. Баркер Ф., Эварт А., Арт Дж.Г. и др. Трондземиты, дациты и связанные с ними породы. – М.: Мир, 1983. – 488 с.
14. Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rock // J. Petrol. – 1984. – V. 25. – № 4. – P. 956–983.
15. Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids // Geol. Soc. Amer. Bull. – 1989. – V. 101. – P. 653–643.
16. Tischendorf G., Palchen W. Zur Klassifikation von Granitoiden // Z. geol. Wiss. – 1985. – № 13. – S. 615–627.

Поступила 19.01.2012 г.