

## МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ТАСТАУСКОЙ ПАЛЕОВУЛКАНИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ (ЧАРСКАЯ СДВИГОВАЯ ЗОНА, ВОСТОЧНЫЙ КАЗАХСТАН)

© 2010 г. К. А. Докукина

Геологический Институт РАН  
119017, г. Москва, пер. Пыжевский, 7  
E-mail: dokukina@mail.ru

Поступила в редакцию 27.04.2010 г.

Контрастные по составу изверженные породы триасовой Тастауской палеовулканической структуры являются следствием взаимодействия мантийной мафической и нижнекоровой гранитоидной магм. Формирование палеовулкана происходило в несколько этапов и контролировалось региональными сдвиговыми деформациями.

Ключевые слова: *комбинированные интрузии, сосуществующие магмы, минглинг, миксинг, сдвиговые деформации.*

Пермь-триасовые палеовулканические и интрузивные постройки пересекают континентальные комплексы в пределах Зайсанского орогена, который был сформирован в результате закрытия Обь-Зайсанского океанического бассейна при позднегерцинской коллизии Казахского и Сибирского континентов [1]. Изверженные породы тастауской габбро-гранитной серии образуют региональный пояс северо-западного простирания, приуроченный к Чарской сдвиговой зоне (рис. 1), формирующей центральную часть Зайсанского орогена.

Тастауские изверженные породы укладываются в единый известково-щелочной тренд (рис. 2), являющийся следствием смешения коровых кислых и мантийных основных магм (минглинга и миксинга [7, 9, 13]). Подтверждением тому являются многочисленные примеры комбинированных синплутонических базит-гранитоидных интрузивов, свидетельствующих об одновременном сосуществовании мафических и кислых магм. Процессы смешения были важным фактором при формировании серии, хотя при этом нельзя исключать процессы дифференциации.

Изучение расплавных включений в кислых вулканитах и гранитоидах серии показало, что протолитом гранитоидов являлись метапелиты, а процессы частичного плавления шли в высокотемпературных условиях гранулитовой фации метаморфизма при давлениях порядка 10 кбар и температурах выше 1100–1200°C [8].

Составы пород Тастауской серии широко варьируют по содержанию кремнезема ( $\text{SiO}_2$  – 39.6–76.5 вес. %). Ультрасосновные породы представлены меланократовыми пикритами с высокой магнезиальностью ( $\#Mg$  – до 0.7). Негибридизированные габброиды имеют магнезиальность 0.52–0.5. Синплу-

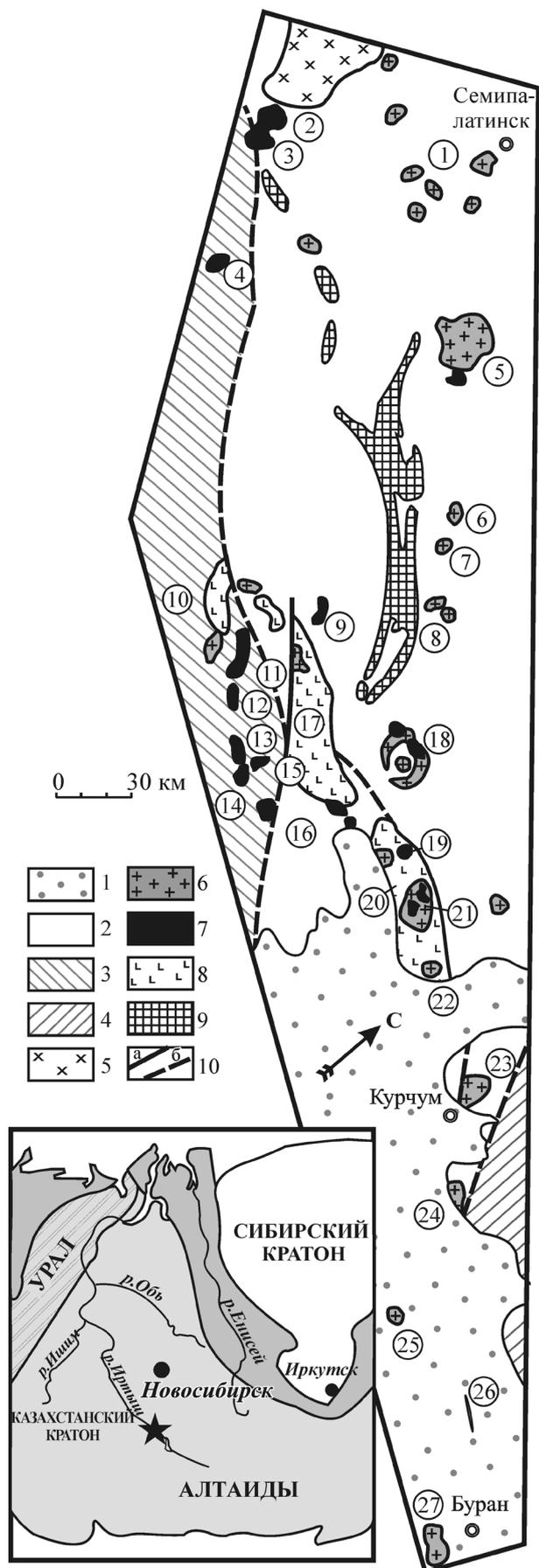
тонические мафические дайки и включения представлены субщелочными габбро, монцонитами, сиенитами и кварцевыми сиенитами ( $\text{SiO}_2$  = 46.2–62.8,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  = 15.8–19.6,  $\text{TiO}_2$  = 0.75–2.22,  $\text{FeO}_{\text{общ}}$  = 4.7–11.5,  $\text{MgO}$  = 1.8–5.4,  $\text{CaO}$  = 2–7 вес. %) с высоким содержанием щелочей ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  = 5.2–9.3 вес. %). Кислые породы представлены гранитами, субвулканическими дайками и эффузивными дацитами. Мафические включения деплетированы относительно габбро по содержанию Sr и Ca; и обогащены Rb и K. Кислые породы деплетированы по содержанию Ba и Sr и обогащены U. Все породы серии за исключением крайних мафических членов, имеют отрицательные РЗЭ спектры с отрицательными европиевыми аномалиями (мафические включения  $(\text{Ce}/\text{Yb})_n$  = 4.99–5.54,  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  = 68–0.78; граниты  $(\text{Ce}/\text{Yb})_n$  = 5.48–8.59,  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  = 0.24–0.64; фельзиты  $(\text{Ce}/\text{Yb})_n$  = 2.50,  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  = 0.006). Негибридизированные габброиды имеют отрицательный РЗЭ спектр с небольшой положительной европиевой аномалией  $(\text{Ce}/\text{Yb})_n$  = 5.34,  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  = 1.02). На дискриминационных диаграммах составы изверженных пород Тастауской серии попадают в области внутриплитного магматизма и активных континентальных окраин.

Проявления пермь-триасового основного магматизма в пределах Зайсанского орогена интерпретируются как следствие отрыва слэба и формирования астеносферного клина в аккреционно-коллизийных условиях [2] или как проявление глобального пермь-триасового мантийного плюма и подъем мантийных магм или их дериватов в декомпрессионные зоны, связанные с интенсивными сдвиго-раздвиговыми деформациями [4], или как сочетание плейт- и плюм-тектонических факторов [3].

## ТАСТАУСКАЯ ПАЛЕОВУЛКАНИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА

Тастауская палеовулканическая структура наиболее полно отражает специфику пород серии и представляет собой корневую часть древнего эродированного вулкана центрального типа (рис. 1). В его строении участвует широкий спектр магматических пород тастауской серии: многофазные гранитоиды, диориты и габброиды (рис. 3) [6]. В плане он представляет собой шток, окруженный двумя системами кольцевых интрузивных тел в форме эллипса размером  $13 \times 18$  км. На геолого-геофизическом разрезе [6] Тастауская структура представляет собой усеченный конус, обращенный вершиной вниз. Вмещающие породы представлены слабо метаморфизованными в условиях зеленосланцевой фации осадочными отложениями верхнего карбона. Интрузивные и субвулканические породы, представленные в Тастауском комплексе по структурно-геологическим данным можно разделить на несколько групп.

Относительно древними из изверженных пород являются микроинтрузии кальциевых базитов, залегающие в пределах линейных зон тектонического брекчирования осадочных пород в центральной части палеовулканической постройки, а также принимающие участие в составе синплутонических тел гранитов и диоритов на северо-западе структуры (рис. 4). Базиты характеризуются повышенным содержанием кальция, низким содержанием щелочей, широкими вариациями содержаний всех глав-



**Рис. 1.** Схема размещения вулканических центров и интрузивов тастауской и салдырминской вулканоплутонических серий в структурах Зайсанской складчатой системы [6].

1 – рыхлые отложения; 2–4 – структурно-формационные зоны: 2 – Чарская, 3 – Жарма-Саурская, 4 – Калба-Нарымская; 5 – Семейтауская вулканоплутоническая структура; 6–8 – тастауская и салдырминская (в Жарма-Саурской зоне) вулканоплутонические базит-гранитоидные серии: 6 – гранитоиды тастауской вулканоплутонической серии, 7 – базиты нерасчлененные, 8 – вулканы аргимбайской ассоциации (даубайский и тюрешокинский комплексы); 9 – Чарский офиолитовый пояс; 10 – тектонические разрывы. Цифры в кружках: 1 – Семипалатинская группа малых гранитоидных интрузивов; 2 – Северный Койтас; 3–9 – интрузивы: 3 – Южный Койтас, 4 – Максутский, 5 – Дельбегейский, 6 – Бакырчикский, 7 – Уйтаский, 8 – Филиповские и 9 – Акжальские интрузивы; 10 – Воронцовский вулканический центр; 11–16 – интрузивы: 11 – Аргимбайский, 12 – Зосимовский, 12 – Карасуйский, 14 – Комсомольский, 15 – Петропавловский, 16 – Кокпектинский; 17 – Даубайский вулканический центр; 18 – Тастауская вулканоплутоническая структура; 19 – Буконьские интрузивы и одноименный дайковый пояс; 20 – Майтюбинский вулканоплутонический центр; 21 – Преображенский и 22 – Караоткельский интрузивы; 23 – Актюбинский вулканический центр; 24 – Турангикульский и 25 – Чекельмесский интрузивы; 26 – Керишский дайковый пояс; 27 – Буранский интрузив.

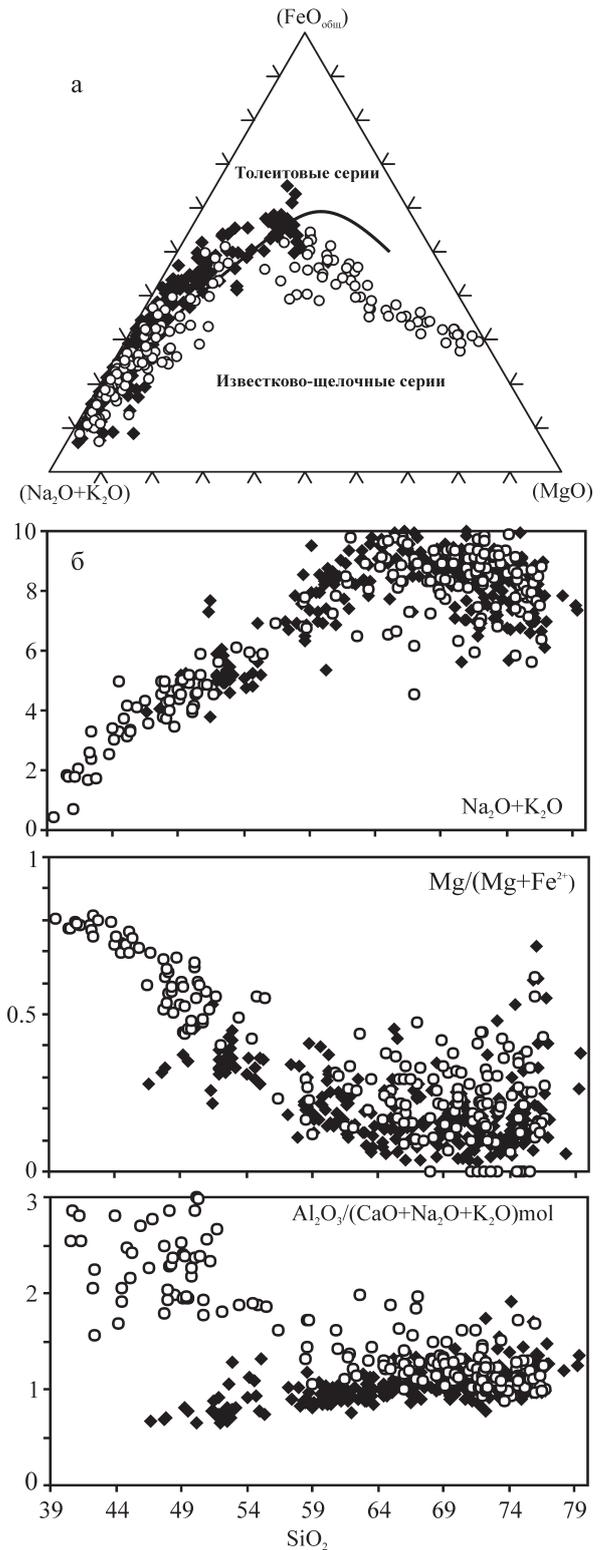
ных элементов и не укладываются в общий тренд тастауской серии (рис. 5). По соотношению кремнезема и щелочей базиты попадают на границы полей габбро, диоритов и кварцевых диоритов. По-видимому, высокая дисперсия их составов была обеспечена малым размером тел в условиях тектонического контроля перемещения и консолидации базитового расплава.

Наиболее крупное тело субщелочных негибридизированных габброидов тастауской серии приурочено к внешнему интрузивному кольцу на северо-западе структуры (рис. 3). Промежуточное положение между базитами и гранитоидами занимают гибридные породы, представленные комбинированными интрузиями габбро и диоритов, внедренными в магматическую камеру гранитного состава [5] (рис. 6). Результирующие гибридные породы включают дайки, пиллоу- и глобулярной формы базитовые тела, в разной степени дезинтегрированные и гомогенизированные с вмещающими гранитоидами. Комбинированные интрузии распределены по площади неравномерно, приурочены к внешнему интрузивному кольцу и малому штоку граносиенитового состава, а также представлены в виде отдельных синплутонических даек. Крупный массив находится на северо-западе кольцевой структуры на границе нескольких контрастных по составу интрузивных тел: оливиновых габброноритов, граносиенитов и лейкогранитов тастауской серии.

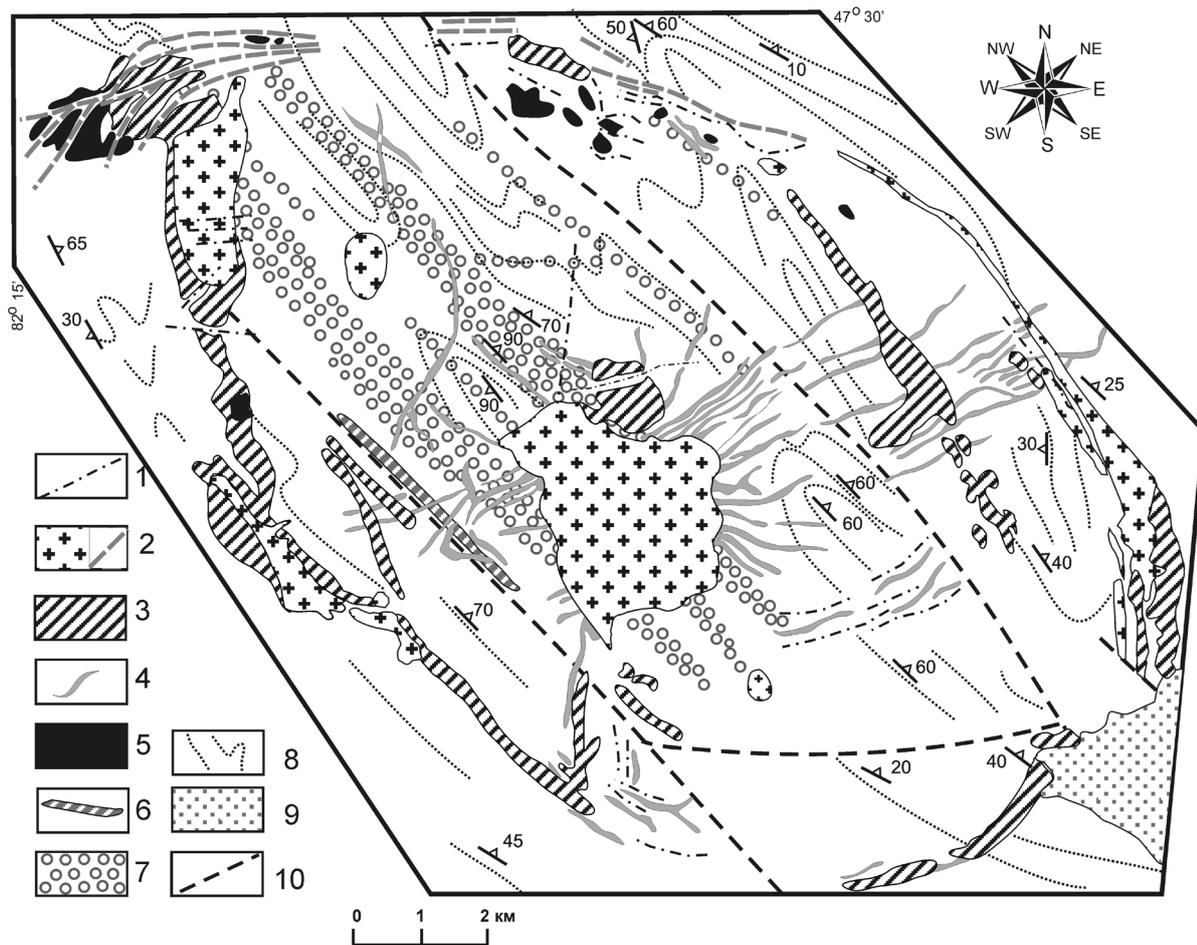
Кислые субвулканические дайки образуют пояс северо-восточной ориентировки, протягивающийся за пределы внешнего интрузивного кольца. Гипабиссальные меланократовые и лейкократовые граносиениты – хорошо раскристаллизованные породы, имеющие следы закалки в эндоконтактных зонах. Они слагают внешнее интрузивное кольцо, и малый шток в центральной части комплекса.

Граносиениты, граниты и лейкограниты формируют отдельные массивы в кольцевом обрамлении и центральный шток. Гранитоиды не деформированы и секут рой кислых субвулканических даек и линейную зону, насыщенную базитовыми микроинтрузиями.

Из гранитов комбинированного базит-гранитоидного интрузивного тела на северо-западе Тастауской структуры была отобрана геохронологическая проба. Важно отметить три обстоятельства, которые учитывались при отборе: 1) гранитная магма сосуществовала с мафической; 2) граниты такого состава являются самой распространенной в тастауской серии разновидностью гранитоидов; 3) по геологическим данным изученный синплутонический массив внедрился на ранних стадиях формирования тастауской постройки. U-Pb изотопный анализ циркона из амфибол-биотитовых гранитов проводился в ГИ КНЦ РАН (Апатиты), аналитик Т.В. Каулина. Дискордия по четырем точкам и с нижним пересечением, фиксированным в начале

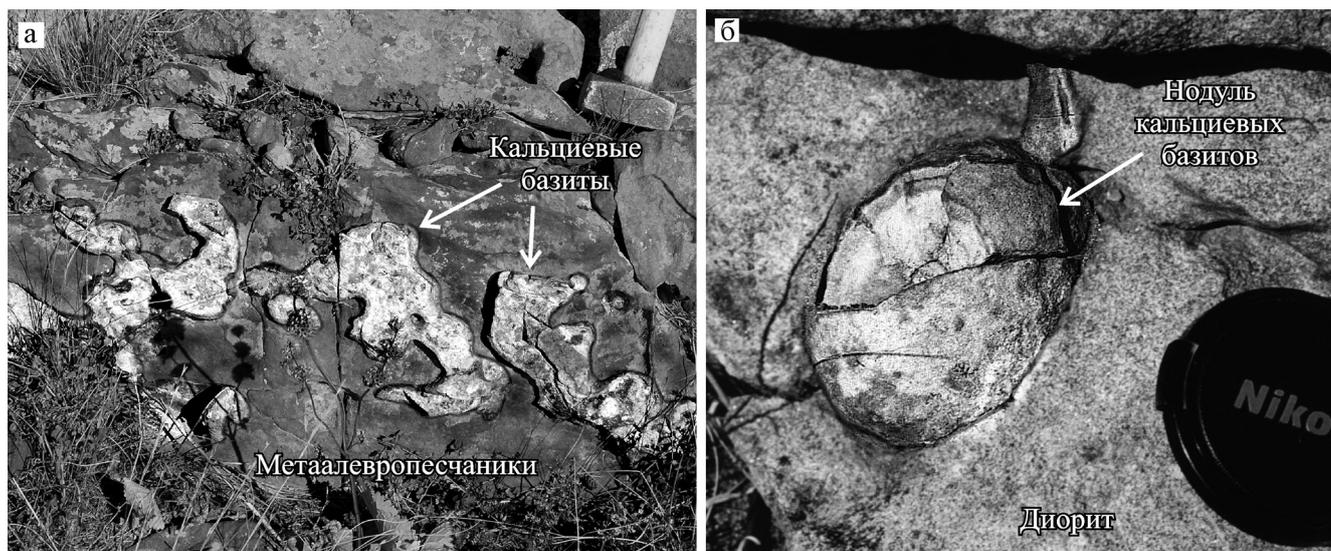


**Рис. 2.** Композиционные диаграммы для составов тастауской (белые кружки) и семейтауской (черные ромбы) вулcano-плутонических серий. а – диаграмма AFM [(Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O)–FeO<sub>общ</sub>–MgO], граница толейтовой и известково-щелочной серий по Х. Куно [11]; б – вариационные диаграммы для изверженных пород семейтауской и тастауской вулcanoплутонических серий.



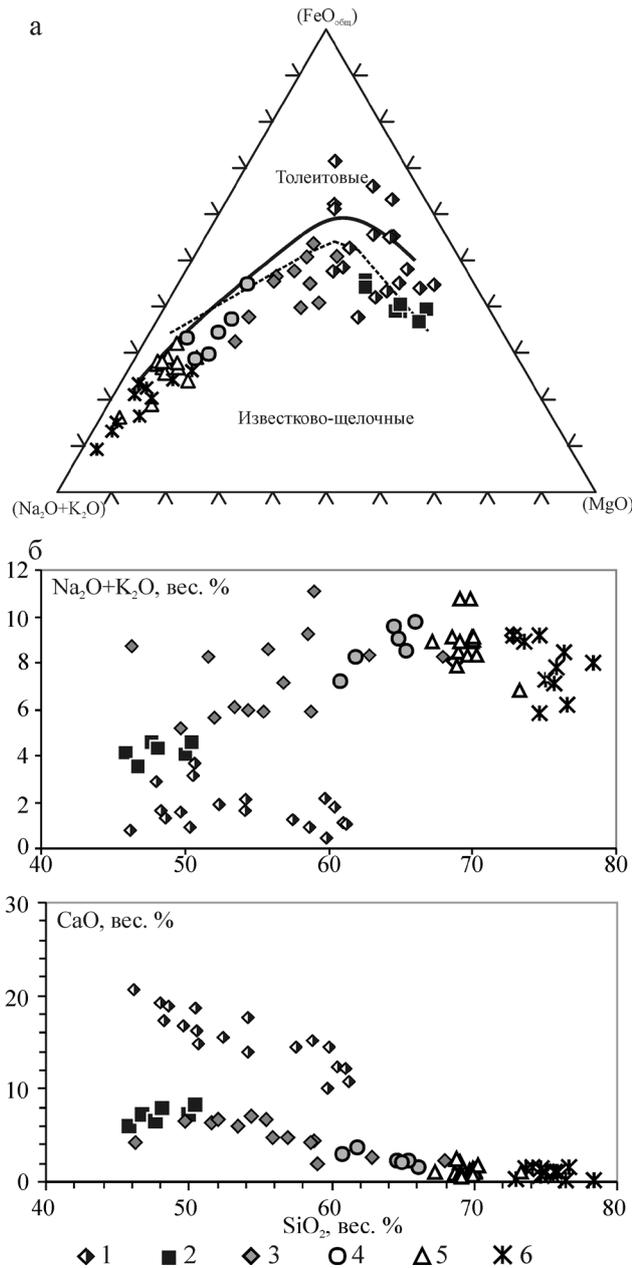
**Рис. 3.** Схема геологического строения Тастауской кольцевой вулканоплутонической структуры (по материалам [6]).

1 – комбинированные дайки диабазов, диабазовых порфиритов, граносиенит-порфиритов, сиенит-порфиритов и гранитов; 2 – лейкограниты, граниты и граносиениты; 3 – меланократовые граносиениты; 4 – субвулканические кислые дайки; 5 – оливковые габбро и габбронориты; 6 – плагиоклазовые порфириты; 7 – линейные зоны, насыщенные телами базитовых микроинтрузий; 8 – вмещающие песчано-сланцевые отложения ( $C_1$ ); 9 – рыхлые отложения; 10 – разломы.



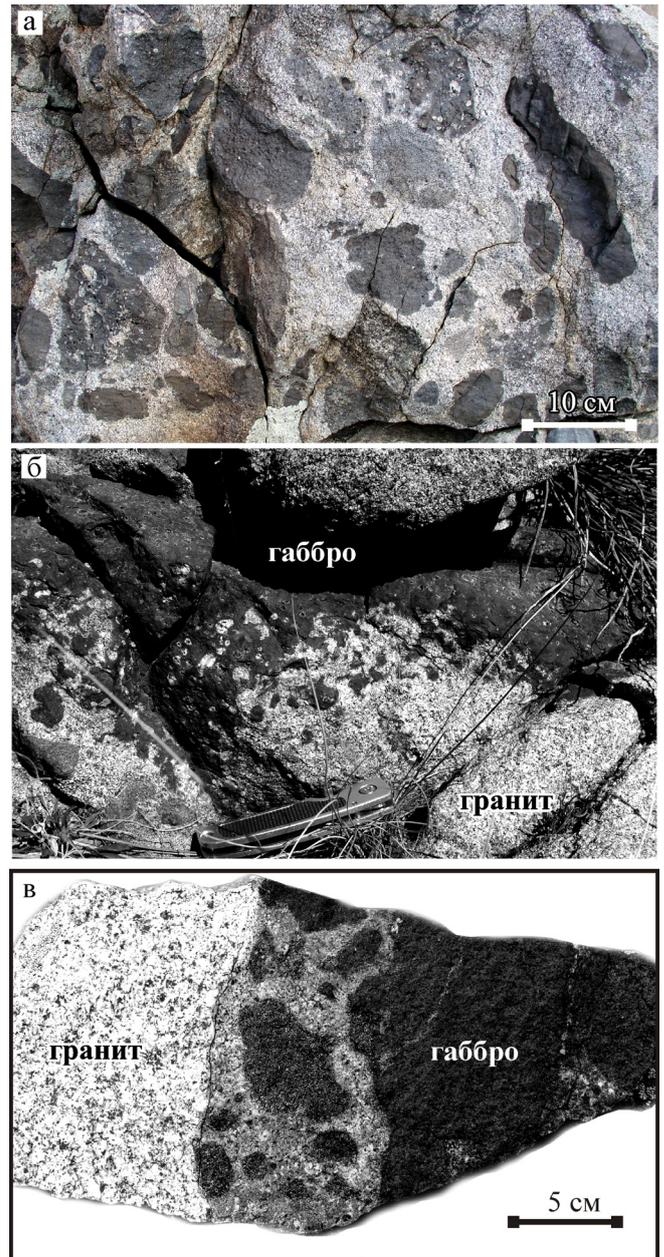
**Рис. 4.** Полевые фотографии кальциевых базитов.

а – фрагментированная дайка кальциевых базитов в метаалевролитах, б – нодуль кальциевых базитов в диоритах.



**Рис. 5.** Диаграммы составов изверженных пород Тастауской палеовулканической структуры.  
 а – AFM [(Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O)–FeO<sub>общ</sub>–MgO] диаграмма;  
 б – вариационные диаграммы (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O)–SiO<sub>2</sub> и CaO–SiO<sub>2</sub>. 1 – кальциевые базиты, 2 – оливиновые габбронориты, 3 – мафические включения в гранитоидах, 4 – меланократовые граносенинты внутреннего интрузивного кольца и малого штока, 5 – граниты и лейкограниты внешнего интрузивного кольца и большого центрального штока, 6 – лейкограниты и гранит-порфиры раннего дайкового роя.

координат, имеет возраст по верхнему пересечению  $242 \pm 20$  млн. лет, что соответствует раннему триасу по международной стратиграфической шкале 2006 г. Изотопные отношения  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  дают близкие возраста – 234–262 млн. лет. Несмотря на высокую аналитическую погрешность определения,



**Рис. 6.** Полевые фотографии комбинированных интрузий.  
 а – мафические включения в лейкогранитах; б – фестончатый контакт между синплутонической габброидной дайкой и лейкогранитами, характерный для взаимодействия двух контрастных вязких жидкостей [10]; в – контакт между крупным нодулем габбро и лейкогранитом; на контакте от мафитового тела обособляются отдельные мафитовые нодули, а зона контакта представлена гибридной породой среднего состава.

полученное значение существенно моложе прежних оценок возраста Тастауской серии. В частности Ермолов и др. [6] предполагали для Тастауской структуры заведомо более древний, позднекарбонный возраст, а в работе [3] возраст палеовулкана оценивается как раннепермский. С учетом нового

изотопного определения, возраст Тастауской структуры можно соотнести с возрастом семейтауского базит-гранитоидного вулканоплутонического комплекса, датированного  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  методом как ранне-триасовый –  $248.2 \pm 0.5$  и  $248.8 \pm 0.5$  млн. лет [12].

Тастауская и семейтауская серии в целом имеют похожие известково-щелочные тренды составов. Наличие ультраосновных и основных высокомагнезиальных разновидностей изверженных пород, повышенные магнезиальность в целом и высокая глиноземистость базит-гранитоидных разновидностей пород характерны для тастауской серии (рис. 2). На диаграммах ультраосновные и некоторые основные породы тастауской серии группируются в поля, обособленные от общего тренда распределения составов сравниваемых вулканоплутонических серий. Это высокомагнезиальные породы, деплетированы по содержанию титана, алюминия, кальция и щелочей. Формирование базитовых разновидностей магматических пород тастауской серии связывают с внедрением и дифференциацией двух существенно самостоятельных типов магматических расплавов: мелалапикритового и оливин-базальтового [6]. Интересной особенностью является то, что при одинаковом содержании щелочей в обеих сериях, тастауская серия отличается натровой щелочностью, а семейтауская, соответственно, калиевой.

При всех указанных различиях, поля составов вулканоплутонических серий пересекаются на вариационных и дискриминационных диаграммах. При изучении расплавных включений в кислых породах семейтауской серии были определены высокие температуры ликвидуса –  $860\text{--}1100^\circ\text{C}$  для гранитоидов и  $1200\text{--}1400^\circ\text{C}$  для глубинных ксенолитов, и оценены параметры давления условий парциального плавления корового субстрата (~10 кбар) [6]. Оценки совпадают с полученными параметрами для пород тастауской серии. В целом, можно говорить о сходных условиях формирования гранитоидных расплавов для обеих серий: 1) сближенность по возрасту формирования и структурному положению в Чарской сдвиговой зоне; 2) одинаковые *PT*-параметры, оцененные для условий зарождения расплава. Различия между составами серий, вероятно, связаны, прежде всего, с разными составами протолита, подвергавшегося процессам частичного плавления.

По структурно-геологическим данным интрузивные и субвулканические породы Тастауской структуры отвечают разным стадиям формирования палеовулканического аппарата (рис. 7).

**Этап 1.** Микроинтрузии кальциевых базитов, представленные фрагментированными дайками и жилами небольшой мощности в пределах северо-западных зон тектонического брекчирования вмещающих метаграувакк. Внедрение и фрагментация базитового расплава происходила в момент

дробления метаосадочного матрикса, формирования зон брекчирования, и соответствующего падения вязкости вмещающих пород с приобретением ею квазижидкого (текучего) состояния. Формирование микроинтрузий кальциевых базитов Тастауской вулканоплутонической структуры связывается с тектоническими процессами, имеющими сдвиговую природу и по скоростям деформаций сопоставимыми с современными внутрикоровыми землетрясениями [5]. Последние обеспечили нарушение внутренней структуры метаосадочных толщ и, как следствие, снижение их вязкости. В то же время, синхронные сдвиговые деформации привели к дезинтеграции и “рассеиванию” базитового расплава вдоль линейных тектонических зон и формированию бескорневых микроинтрузий.

**Этап 2.** Многочисленные субвулканические дайки кислого состава северо-восточной ориентировки пересекают центральную часть Тастауского комплекса и занимают позицию трещин отрыва. Кислые дайки, с одной стороны, пересекают тектонические зоны, насыщенные микроинтрузиями базитов, с другой стороны, пересекаются граносиенитами внешнего интрузивного кольца и малого штока.

**Этап 3.** Исследование комбинированных интрузий сделало ясным, что граносиениты внешнего интрузивного кольца и малого штока могут быть результатом гомогенизации базитовой и гранитной магм. Формирование кольцевых интрузивов связано с обрушением кровли вмещающих пород над магматической камерой гибридного состава.

**Этап 4.** Граниты и лейкограниты внутреннего интрузивного кольца и центрального штока по составу соответствуют кислым магматитам, принимающим участие в составе комбинированных интрузий внешнего интрузивного кольца. Формирование больших объемов кислых коровых магм, по видимому, связано с высокой степенью плавления внутрикоровых пород, формированием новой гипабиссальной магматической камеры гранитного состава и последующим коллапсом кальдеры.

Формирование Тастауской вулканоплутонической постройки контролировалась эволюцией транспрессионной Чарской сдвиговой зоны (этапы 1–2). В пределах Тастауского блока возрастающие сдвиговые напряжения привели к образованию эшелонированной системы разломов двух типов – “слепых” северо-восточной ориентировки, располагающихся под углом  $30\text{--}50^\circ$  к сдвигу, и проникающих глубинных разломов северо-западной ориентировки, возникших в обстановке внутриблокового сдвига. Сочетание “слепых” разломов и проникающих сдвиговых нарушений сопровождалось появлением локальных зон растяжения, благоприятных для поступления магматических расплавов в верхние уровни коры. Можно предположить, что данные дислокации привели к “вскрытию” разноглубинных очагов расплава. При этом “слепые” разло-

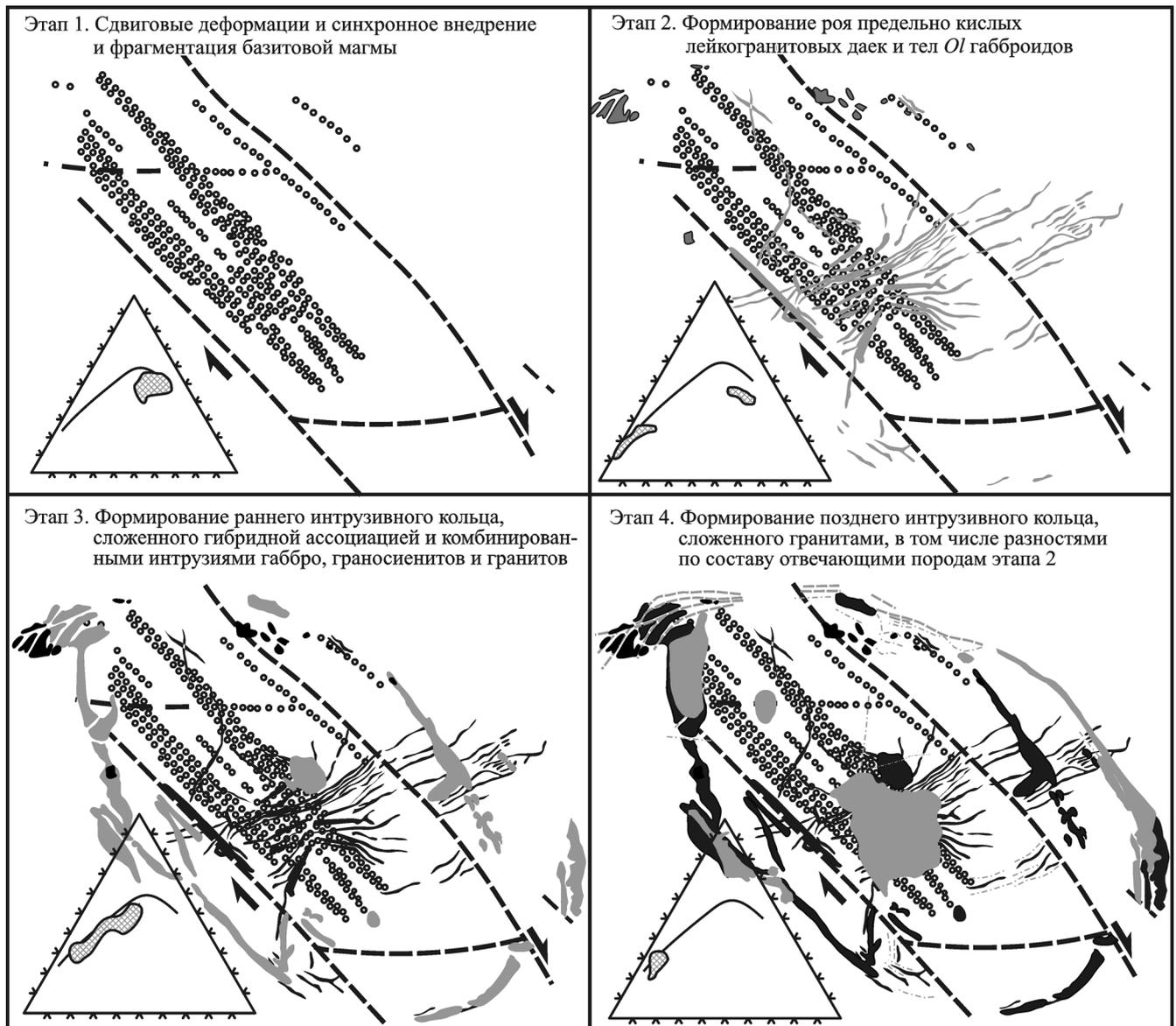


Рис. 7. Этапы формирования Тастауского палеовулкана (пояснения в тексте).

мы в процессе прогрессивного сжатия Тастауского блока пассивно заполнялись расплавом с формированием наиболее крупных и недеформированных кислых даек и тел из очагов малой глубинности. Базитовый же расплав поступал по проникающим сдвиговым зонам из наиболее глубинных очагов, претерпевая при этом рассеивание и фрагментацию по направлению сдвига.

Посткинематические этапы (этапы 3–4) характеризуются становлением собственно Тастауского палеовулканического аппарата. Формирование системы центральный шток – кольцевые дайки связано с проникновением порций гибридного и гранитного расплавов на гипабиссальный уровень, формированием магматических камер и последующим выжиманием магмы по системе кольцевых разломов при просадке пород осадочной кровли.

Следует отметить, что этапы формирования Тастауского палеовулкана (рис. 7) были очень сближены. На это указывают участие кальциевых базитов (этап 1) в составе комбинированных интрузий (этап 3); сходные составы кислых субвулканических даек (этап 2), гранитов комбинированных интрузий (этап 3) и гранитов и лейкогранитов внутреннего интрузивного кольца и большого штока (этап 4).

Интерпретация процессов генерации и становления тастауской габбро-гранитной серии и ее региональных аналогов не зависит от выбора геодинамического сценария [2–4]. Тектоническое растяжение корового масштаба привело к декомпрессии и частичному плавлению мантийных пород с генерацией мафических расплавов. Горячая базитовая магма в основании коры инициировала анатексис

коровых пород с формированием гранитов. Некоторые из этих расплавов (мантийных и коровых) перемещались через кору на близповерхностный уровень, с формированием гипабиссальных гибридных и гранитоидных магматических камер и последующим излиянием на поверхность пикритов, базальтов, андезитов, дацитов и риолитов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке “Фонда содействия отечественной науке”.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буслов М.М., Ватанабе Т., Смирнова Л.В. и др. Роль сдвигов в позднепалеозойско-раннемезозойской тектонике и геодинамике Алтае-Саянской и Восточно-Казахстанской складчатых областей // Геология и геофизика. 2003. Т. 44, № 1-2. С. 49–75.
2. Владимиров А.Г., Крук Н.Н., Руднев С.Н., Хромых С.В. Геодинамика и гранитоидный магматизм коллизионных орогенов // Геология и геофизика. 2003. Т. 44, № 12. С. 1321–1338.
3. Владимиров А.Г., Крук Н.Н., Хромых С.В. и др. Пермский магматизм и деформации литосферы Алтая как следствие термических процессов в земной коре и мантии // Геология и геофизика. 2008. Т. 49, № 7. С. 621–636.
4. Добрецов Н.Л. Мантийные плюмы и их роль в формировании анарогеновых гранитоидов // Геология и геофизика. 2003. Т. 44, № 12. С. 1243–1261.
5. Докукина К.А., Владимиров В.Г. Тектонический контроль формирования базитовых интрузий Тастауской вулканоплутонической структуры (Восточный Казахстан) // Геология и геофизика. 2008. Т. 49, № 8. С. 769–783.
6. Ермолов П.В., Владимиров А.Г., Изох А.Э. и др. Орогенный магматизм офиолитовых поясов (на примере Восточного Казахстана). Новосибирск: Наука, 1983. 207 с.
7. Литвиновский Б.А., Занвилевич А.Н., Калманович М.А. Многократное смешение сосуществующих сиенитовых и базитовых магм и его петрологическое значение, Уха-Хилокский массив, Забайкалье // Петрология. 1995. Т. 3, № 2. С. 133–157.
8. Титов А.В., Хромых С.В., Владимиров А.Г., Поспелова Л.Н. Расплавные включения в гранате и кварце из дацит-порфиоров Актюбинской структуры (Казахстан): оценка условий генерации и состава первичных расплавов // Докл. АН. 2001. Т. 377, № 1. С. 86–90.
9. Cook N.D.J. Diorites and associated rocks in the Anglem Complex at the neck, northeastern Stewart Island, New Zealand: an example of magma mingling // Lithos. 1988. V. 21. P. 247–262.
10. Furman T., Spera F.J. Co-mingling of acid and basic magma with the implications for the origin of mafic I-type xenoliths: field and petrochemical relations of an unusual dike complex at Eagle Lake, Sequoia National Park, California, USA // J. Volcanology Geothermal Res. 1985. V. 24. P. 151–178.
11. Kuno H. Differentiation of basalt magmas // Basalts: The Poldervaart treatise on rocks of basaltic composition. V. 2. / H.H. Hess, A. Poldervaart (eds.). Interscience, New York, 1968. P. 623–688.
12. Lyons J., Coe R. S., Zhao X. et al. Paleomagnetism of the Early Triassic Semeitau Igneous Series, Eastern Kazakhstan // J. Geophys. Res. 2002. V. 107. P. 157–195.
13. Marshall L.A., Sparks R.S.J. Origin of some mixed-magma and net-veined ring intrusions // J. Geol. Soc. London. 1984. V. 141. P. 171–182.

*Рецензент А.И. Малышев*

## Model of forming of Tastau paleovolcanic structure (Char shear band, Eastern Kazakhstan)

**К. А. Dokukina**

*Geological institute of RAS*

Gabbro-granite intrusive rocks of Triassic Tastau paleovolcanic structure is a consequence of interaction of a mantle mafic and a lower-crust felsic magma. Paleovolcano forming occurred in several stages and depended on regional shear deformations.

Key words: *combine intrusions, coexisting magma, mingling, mixing, shear deformations.*