

УДК 550.4 (479.25)

Динамическая модель формирования магматических пород Гарца

И.К. Клиш, Р.Г. Геворкян*

*Ереванский государственный университет
Республика Армения, Ереван-025, ул. А. Манукяна, 1*

Received 22.05.2013, received in revised form 27.02.2014, accepted 14.03.2014

Горный массив Гарц расположен в северной части территории Германии и занимает геологическую позицию между Рейнскими складчатыми горами и глыбой Флейтинг-Росслау. Породы Гарца составляют геологически жесткий горстовый сильно метаморфизованный верхнепалеозойский комплекс, в котором преимущественно развиты девонские и нижнекарбоновые образования. В геологическом строении Гарца различают три крупные морфологические единицы, маркируемые региональными нарушениями. Верхний Гарц (Oberharz): девонская седловина верхнего Гарца, массив Иберг, складчатая зона Клаусталя, диабазовый пояс верхнего Гарца, мульда Зезе, пояс Аккер-Брухберг. Средний Гарц (Mittelharz): мульда Зибер, складчатая зона Бланкенбурга, комплекс Эльбингероде, кульмские граувакки пояса Танне. Нижний Гарц (Unterharz): мульда южного Гарца, мульда Зельке, складчатая зона Гарцгероде, метаморфическая зона Виппра. Из глубинных магматитов в Гарце расположены: плутон Рамберг, плутон Брокен с габбровым массивом Гарцбург и метаморфическая глыба гнейсов Эккер, массив Окер. Глубинные породы Гарца представлены плутонами Брокен, Рамберг и дайкой Боде. Массив Брокен вместе с гранитными массивами Окер, Ильзештейн и габбро массива Гарцбург образуют целый сложнодифференцированный магматический комплекс. Главная для Гарца – варисцийская складчатость, в период которой наиболее интенсивно и проявился магматизм. Основной геотектонической проблемой служит установление участия тектоники плит в варисцидах Мезоевропы. По современным представлениям Мезоевропа является той частью континента, которая сложнее всего поддается интерпретации относительно модели тектоники плит. Петролого-геохимическая модель формирования магматического комплекса Гарца основывается на известных геолого-тектонических, геофизических и других фундаментальных фактах геологического строения и позиции магматических массивов Гарца. В основе построения лежит принятый схематический геологический разрез вдоль Реногерцинской зоны после завершения варисцийской коллизии и формирования плутонов на границе времени карбон–пермь.

Содержание приведенной петролого-геохимической модели сводится к миграции в Гарце родоначального толеитового магматического очага с юго-востока на северо-запад с последовательными изменениями составов расплавов в сторону образования гранитоидов за счет прогрессирующего палингенеза, магматического замещения и метасоматоза. Движущей силой этих процессов, безусловно, были нарастающие тектонические напряжения вдоль варисцийской зоны скольжения.

Ключевые слова: модель, Гарц, гранитоиды, палингенез, метасоматоз, тектонические напряжения, варисцийская зона скольжения.

Введение

Основное содержание приведенной петролого-геохимической модели сводится к миграции в Гарце родоначального толеитового магматического очага с северо-запада на юго-восток с последовательным смещением составов расплавов в сторону образования гранитоидов за счет прогрессирующего палингенеза, магматического замещения и метасоматоза. Движущей силой этих процессов, безусловно, являлись нарастающие тектонические напряжения вдоль варисцидской зоны скольжения (рис. 1) [1].

Горный массив Гарц располагается в северной части территории Германии и занимает геологическую позицию между Рейнскими складчатыми горами и глыбой Флейтинг-Рослау. В административном отношении Гарц относится к федеральным землям Нижняя Саксония, Заксен-Анхальт и Тюрингия (рис. 1).

В геоморфологическом отношении современная поверхность горного массива Гарц представляет собой ступенчатое вложение концентрических поднятий от периферии к центру. Это особенно бросается в глаза при подходе к Гарцу с северо-востока, где всхолмленная до 250 м равнина уступообразно переходит в высокогорье, венчающееся г. Брокен (1142 м).

Породы Гарца составляют геологически жесткий горстовый сильнометаморфизованный верхнепалеозойский комплекс, в котором преимущественно развиты девонские и нижнекарбоновые образования. В геологическом строении Гарца различают три крупные морфологические единицы, маркируемые региональными нарушениями.

Верхний Гарц (Oberharz): девонская седловина верхнего Гарца, массив Иберг, складчатая зона Клаусталя, диабазовый пояс верхнего Гарца, мульда Зезе, пояс Аккер-Брухберг.

Средний Гарц (Mittelharz): мульда Зибер, складчатая зона Бланкенбурга, комплекс Эльбингероде, кульмские граувакки пояса Танне.

Нижний Гарц (Unterharz): мульда южного Гарца, мульда Зельке, складчатая зона Гарцгероде, метаморфическая зона Виппра.

Из глубинных магматитов в Гарце расположены: плутон Рамберг, плутон Брокен с габбровым массивом Гарцбург и метаморфическая глыба гнейсов Эккер, массив Окер.



Рис. 1. Карта географической позиции Гарца [2]

Материалы проблемы

В пределах Гарца в настоящее время выделяют 14 самостоятельных в геологическом отношении зон. Их современные очертания сформировались в течение всей эволюции уже на ранних стадиях орогенеза в ходе осадкообразования и проявления магматизма (рис. 2). Каждая из зон тщательно изучена, а описание их, по данным предыдущих исследователей, приведено в последней сводной работе [2, 3].

Тектоника. Среднеевропейская варисцийская эвгеосинклиналь разделяется *Среднегерманским кристаллическим порогом* на две системы трогов: на юго-востоке (ЮВ) расположен *Саксотюрингско-Судетский трог*, на северо-западе (СЗ) – *Реногерцинский трог*. К последнему принадлежат Эйфель, Рейнские сланцевые горы, возвышенный пояс Флейтинг–Росслау и Гарц.

Гарц является частью древних варисцийских складчатых гор. Основной процесс горообразования здесь приходится не на отрезок времени нижний–верхний карбон («судетская фаза»), как ранее представлялось, а только на *верхний карбон*, т. е. варисцийская тектоника, представленная в ядре структур Гарца, и явилась результатом «*астурийской фазы*» (Westfal–Stefan).

Вся варисцийская тектоника обладает «*рудногорской*» ЮЗ–СВ направленностью, в то время как вытянутый контур Гарца продолжает оставаться типичным для герцинид СЗ–ЮВ. Современный тектонический облик Гарца сформировался также под воздействием более поздних эпигенетических движений в третичное и даже четвертичное время. К концу *плиоцена* в Гарце произошло глыбово-тектоническое омолаживание, при котором сильно выявились подъем и выпуклость рельефа, а также слабое блоковое расщепление. Особенно на ЮЗ заметна тектоническая деятельность «*заальской фазы*».

Главная для Гарца – *варисцийская складчатость*, в период которой наиболее интенсивно и проявился магматизм. После процессов складчатости в верхнем карбоне и нижней перми (отэн) начался процесс поднятия Гарца. С этим связана германотипная тектоника растяжения, по разломам которой произошел подъем магматических расплавов. При этом в нижней перми доминируют два направления: СЗ–ЮВ простирания (*герцинское*) и С–СЗ простирания (*эггическое*). Многофазовое внедрение массивов гранитов Брокена и Рамберга связано с нарушениями *рейнского* и *эггического* простираний. Сравнительно молодой массив гранитов Ильзештейна внедрился по *герцински*-ориентированным разломам. *Рейнское* направление было активным как в период стефанского яруса (плутон Рамберг), так и в отэне (Ауэрберг). В глубинных этажах плутона Рамберг преобладали рейнские магмоподводящие зоны. *Эггическое* же направление ответственно за размещение гранита Рамберг на современном уровне. Каждая тектоническая автономная единица Гарца выделяется своими четкими разрывными элементами.

Особую тектоническую проблему для Гарца представляет его чешуйчатое строение. Есть представление Коссмата [4] о покровно-надвиговом альпийском характере строения. В его понимании автохтонным оставался лишь верхний Гарц, в то время как средний и нижний состояли из покровов тектонически различного облика (как «плита нижнего Гарца» и «плита-ступень»), а их коренная часть располагалась в районе зоны Виппра. При этом комплекс отложений Эльбингероде и зоны Танне рассматривались как «*тектонические окна*» структур автохтонного происхождения. Другие же упомянутые области носили надвиговой характер с шагом надвига покровов или плит 50–60 км.

По общему плану строения Гарц воспринимается как автохтонный горный массив с отчетливой дисгармоничностью складок СЗ простирания и сильной деформацией фациальных отложений. В широтном плане интенсивность складчатости сильно возрастает в ЮВ направлении вдоль массива. Кроме различных пликативных элементов, детали которых подробно описываются в специальных работах по тектонике Гарца, особое место принадлежит целому ряду дизъюнктивных нарушений, составляющих тектоническую картину. К ним относятся древние тектонические глубинные региональные нарушения – *линеаменты*.

Примечательно, что пересечения подобных глубинных структур послужили местом внедрения плутонов Гарца – Брокена и Рамберга.

Основной геотектонической проблемой служит установление участия тектоники плит в варисцидах Мезоевропы. По современным представлениям, Мезоевропа – та часть континента, которая сложнее всего поддается интерпретации относительно модели тектоники плит. Долгое время применение этой модели к европейским варисцидам ставилось под сомнение. Ведется дискуссия не о том, «действительно ли», а «каким образом» произошло образование варисцид с применением вышеназванной модели развития коры и тектоностратиграфии.

Древнепалеозойское развитие. Исходя из классической концепции Коссмата [4] среднеевропейские варисциды подразделяются на зоны, выраженные различиями в условиях отложения, литологии и тектонических структур формирования. Речь идет о зонах Молданубикума, Саксотюрингикума и Реногерциникума. Эти зоны простираются в Средней Европе с юго-запада на северо-восток («варисцийское рудногорское» простирание). Они интегрируются в моделях тектоники плит для Молданубикума и Саксотюрингикума и являются частями комплексного малого континента Арморика. Реногерцинская зона представляет южную часть Восточной Авалонии. По представлениям Франке и Онкена, Вириха, Карлса [4], в интерпретации фактов существуют большие различия. Вначале в нижнем девоне произошел надвиг с юга микроконтинента Молданубикума на микроконтинент Саксотюрингикума. Породы Саксотюрингской плиты были описаны на севере Вогезен, во Франко-Тюрингско-Фогтландских сланцевых горах и в Рудных горах. В регионе Заксен-Анхальт к этой зоне относятся район возле Цейца и его продолжение на восток южнее г. Наумбурга, Мерзебурга и Биттерфельда. Еще ранее, в среднем девоне (~385–375 млн лет), севернее Саксотюрингии находился океан Райшен. Вследствие субдукции здесь сформировалась островная дуга, так называемая Среднеевропейская или Среднегерманская кристаллическая зона. Метаморфические породы и магматиты зоны обнажаются, например, в северной части Тюрингского леса (Рульский кристаллин) и в Киффхойзере, а также были разбурены между г. Галле и Виттенбергом. В верхнем девоне (~370–355 млн лет) Саксотюрингская плита и Среднегерманская кристаллическая зона соединились, при этом последняя была приподнята в виде порога. После этого произошла эрозия и, таким образом, породы верхнего девона и нижнего карбона явились важными источниками для отложения граувакк, которые в виде флиша сформировали реногерцинские образования. Породы Реногерцинской зоны встречаются на поверхности преимущественно в Рейнских сланцевых горах и в Гарце.

Вероятно, на юге между Среднегерманской кристаллической зоной и Реногерцинской зоной находился субдуктировавшийся в нижнем карбоне Лицард-Гиссен-Гарц океан. Наличие этого океана отрицается другими авторами (Карлс и др. [4]). Среднегерманская кристаллическая зона надвинулась на южный край Реногерцинской плиты с образованием аккреционной

призмы (выступа) – северной филлитной зоны. На границе нижнего-верхнего карбона (~320 млн лет) с юга произошла коллизия Гондваны на образованные микроконтиненты, которые далее были деформированы и надвинуты один на другой. В Реногерцинской зоне произошла интенсивная компрессия на юго-восток – северо-запад, которая привела к деформации коры и формированию направленных на север надвигов, покровов и чешуй. Это особо наглядно выражено в Гарце.

Магматизм. Сложная картина магматического этапа развития Гарца может быть проанализирована не только путем детального изучения эффузивных и интрузивных фаций, но и с помощью подробного тектоно-плутонического формационного анализа (рис. 2).

1. *Гарцбургит-габбровая формация.* Породы этой серии в Гарце представлены типичной для начала заложения эвгосинклинали ассоциацией пород типа гарцбургитов и габбро в сочетании с верхнепалеозойской вулканогенно-осадочной толщей спилит-диабазового типа. Последняя включает целую серию: от спилитов силура через диабазы и их пирокласты среднего девона до покровных силлоподобных мощных тел диабазов и габбро-диабазов низов нижнего карбона [1].

По данным петрографического изучения, здесь встречаются *крупнозернистые* и *мелкозернистые диабазы*, переходы между которыми отчетливо прослеживаются в пределах крупных залежей. Наряду с крупнозернистыми диабазами среднего девона присутствуют также *вариолитовые диабазы*, относящиеся к границе верхнего девона – нижнего карбона. Они известны под названием *покровных диабазов* подводного излияния и распространены как в верхнем (Аккер-Брухберг), так и в нижнем Гарце. Эти породы выступают среди верхнедевонских кремнистых сланцев и представляют собой породы зернисто-вариолитового облика. Среди них различают *анальцимовые* и *роговообманковые* разновидности, относимые к *тералитовому* типу магм.

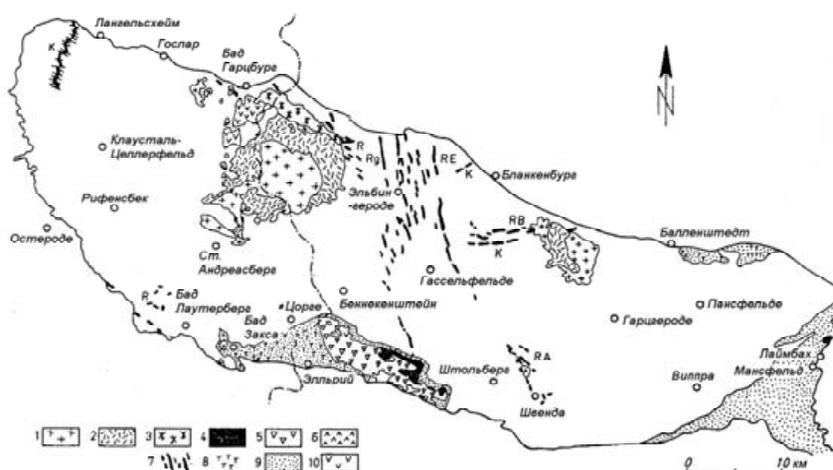


Рис. 2. Обзорная карта магматитов Гарца субсеквентного периода [2]: 1 – кровельный гранит плутона Брокен; среднезернистый гранит Рамберга; 2 – граниты и диориты краевых зон плутона Брокен и порфиновый гранит Рамберга; 3 – гранит Ильзештейна; 4 – мелафир; 5 – порфириты (андезиты); 6 – кварц-порфир (риолит); 7 – дайки среднего Гарца (кварц-порфир, порфирит) и кварц-порфировые жилы; 8 – туфы; 9 – осадки пермо-карбона; 10 – габбро-массив Гарцбург; К – керсантит; R – кварц-порфир; Rg – гранит-порфир; RE – энстатит-порфир; RB – дайка Боде; RA – порфир Ауэрберга

Известные в Гарце излияния *кератофиров* относятся к среднему девону. Кератофиры отличимы от диабазов лишь по природе полевого шпата, слагающего обычно порфиновые выделения. Они образуют залежи среди виссенбахских сланцев, а вблизи Эльбингероде встречаются в основании стрингоцефаловых известняков. Таким образом, вулканизм древнего палеозоя представлен диабазами, кератофирами и их туфами.

Процессы вулканизма в Гарце продолжались и после внедрения главных плутонов Брокен и Рамберг. Породы этого периода представлены уже крупными дайкообразными и субвулканическими телами мелафиров, порфиров, слюдяных мелафиров и различных даек керсантитового, порфиритового (с энстатитом), диорит-порфиритового и других составов. Субвулканический и жильный комплексы пород довольно подробно описаны в сводках [3].

В ассоциации ультраосновных пород Гарца значительное место занимает крупный массив ультрабазитов – типичных гарцбургитов *Гарцбург*. Ультрабазиты Гарцбурга вытянуты с ЮЗ на СВ между рр. Радау и Эккер и расположены на площади 15 км² в районе южнее г. Бад Гарцбург. Массив Гарцбург петрографически состоит из двух частей: северной – габброидной и южной – норитовой. Обе части массива разделяются друг от друга тектонической интрамагматической зоной нарушения северо-западного простирания (125°), проходящей через гору Радау. На СВ габброиды прорываются гранитами Ильзештейна, на востоке – комплексом гранито-гнейсов долины р. Эккер. Структурно массив располагается на границе раздела мульды Зезе и зоны Аккер-Брухберг. Гарцбургский массив внедряется в вариссийский складчатый комплекс среднедевонских и нижнекарбонных пород верхнего Гарца, имеющих СВ–ЮЗ простирание. Петрографические составляющие массива характеризуются широким участием ромбических пироксенов (бронзит и энстатит), клинопироксенов, плагиоклаза, оливина и биотита. При этом в норитовых разностях доминирует *железистый* бронзит. Зона расчленения норитов и габброидов представляет интрамагматическую контактную линию, сформированную еще в период субпластического состояния магмы. По этой линии габброидное тело было несколько смещено к СЗ [1]. В трещины, связанные с этим нарушением, внедрились впоследствии остаточные дифференциаты типа оливинового габбро.

Норитовый комплекс массива включает также линзоподобные тела гарцбургитов. Они рассматриваются как наиболее ранние дифференциаты, которые постепенно переходят в норитовые разности или скорее в оливиновые нориты и даже бронзититы.

Габбровый комплекс северной части массива включает разновидности типа слюдяных авгит-биотитовых норитов, оливиновых габбро и даже слюдяных габбро. Больше всего распространены биотит-авгитовые габбро.

2. *Банатит-гранитоидная формация*. Гранитоиды Гарца резко преобладают над ультраосновными породами по площади развития (более чем в 10 раз). Здесь примечательное место занимают сложнодифференцированные массивы Брокен, Рамберг, Окер и дайка Боде, представленные целым комплексом интрузивных пород от гарцбургитов до двуслюдяных гранитов.

Плутон Брокен. Породы плутона общей площадью 165 км² залегают между складчатыми зонами Клаусталья на западе и Бланкенбурга на востоке. Плутон дискордантно прорывает пояс Аккер-Брухберг и мульду Зибер.

Плутон на ЮВ широким фронтом подсекает складчатую зону Бланкенбурга. А граниты массива Окер и габброиды Гарцбурга прорывают структуры зоны верхнего Гарца. В соответ-

ствии с геолого-петрографической схемой [2, 3] различают следующие основные типы пород плутона Брокен: габбро, габбро-нориты, диориты, кварцевые диориты, гранодиориты, а также нормальные, порфириовидные, микропегматитовые и крупнозернистые граниты.

Плутон Рамберг. Это штокообразный массив, который дискордантно прорвал в ходе варисцийской главной фазы породы складчатой зоны Бланкенбурга и подверг контактовому метаморфизму породы тектонических зон Танне и Гарцгероде. Массив расположен между гг. Тале и Бад-Зюдероде, а на ЮВ его венчает гора Викторсхехе (582 м). Общее падение контактов довольно крутое к Ю–ЮВ.

К настоящему времени плутон Рамберг имеет обширный (около 30 км²) выход на поверхность в виде треугольника, его длинный катет (около 7 км) протягивается параллельно северному краевому разлому Гарца, по которому граниты отсекаются от осадочных толщ. В приконтактной полосе известны породы типа мусковитовых роговиков, которые при удалении от контакта переходят в нормальные роговики и далее в обычные сланцы. В эндоконтактной зоне выделяются кварц-слюдаые породы. В противовес плутону Брокен породы здесь сравнительно однородны и представлены мелко- и среднезернистыми гранитами. Наиболее часты двуслюдаые и биотитовые порфириовидные граниты.

Дайка Бодде имеет весьма внушительные размеры, представлена двумя параллельными телами кварц-порфировых пород, расположенными на расстоянии 100 м друг от друга между Штекленбергом и Вендефуртом. Они обнажаются в глубоком каньоне р. Бодде. Граниты Рамберга расчленяют эту дайку на западную (8 км) и восточную (1 км) части. По мощности их выходы колеблются в пределах 3–8 м. На отдельных участках тело дайки ступенчато и многократно разорвано близширотными нарушениями «рудногорского» направления. Главное падение дайки – Ю, ЮЗ под углом 70°–80°. Вмещающие породы – виссенбахские сланцы низов среднего девона. Характер контактов рвуший, магматический.

Таким образом, глубинные породы Гарца представлены плутонами Брокен, Рамберг и дайкой Бодде. Массив Брокен вместе с гранитными массивами Окер, Ильзештейн и габбро массива Гарцбург образуют целый сложнодифференцированный магматический комплекс. Несколько проще выглядит строение *обособленного* плутона Рамберг. Внедрение обоих плутонов произошло после формирования главных складчатых структур внутренних областей Гарца. Габбро и граниты Гарца по возрасту моложе, чем сланцевые и граувакковые породы.

Петролого-геохимическая модель формирования магматического комплекса Гарца основывается на известных геолого-тектонических, геофизических и других фундаментальных фактах геологического строения и позиции магматических массивов Гарца. В основе построения лежит принятый схематический геологический разрез вдоль Реногерцинской зоны после завершения варисцийской коллизии и формирования плутонов на границе времени карбон-пермь (Францке и др. [3]).

Образование формаций магматического комплекса подчинено тектонической эволюции региона Гарца. Известно, что в этот период в Реногерцинской зоне произошла интенсивная компрессия в направлении юго-восток–северо-запад, которая привела к деформации коры и формированию направленных на север надвигов, покровов и чешуй. Это особо наглядно выражено в магматизме Гарца. В результате указанных геолого-тектонических событий случилась

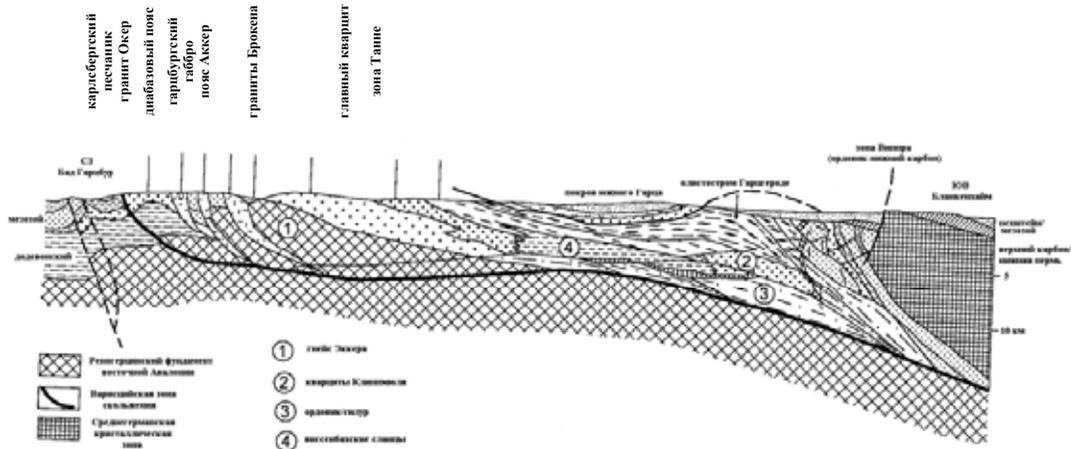


Рис. 3. Схематический северо-западный – юго-восточный разрез через Реногерцинскую зону Гарца после завершения варисийской коллизии и внедрения плутонов на границе карбона-перми (Франcke и др. [3])

многократная гранитизация с соответствующими резкими колебаниями уровней щелочности и миграции магматических очагов расплавов.

Механизм гранитизации аналогичен описанному при образовании банатитовой формации с той лишь разницей, что *исходным субстратом здесь служат диориты и кварц-диориты*, а не осадочно-метаморфические породы. *Ведущим процессом домагматического метасоматоза является микроклинизация. То есть, как правило, последующие палингенные формации возникают в основной своей массе за счет вещества предыдущих («правило экономии» [5]).*

Таким образом, граниты служат примером повторного многократного палингенеза, имеющего огромное петрологическое значение в связи с глубоким перераспределением и дифференциацией главных и редких компонентов в этом процессе. Палингенное происхождение доказывается прямыми наблюдениями гранитизированных и интрузивных пород в целом, процесс образования магматических пород формаций может быть назван *полиэвтектическим анатексисом*, особенно характерным для гранитов массивов Окер и Брокен.

Массив Рамберг – магматическая анатектическая интрузия, доказанная также геофизическими методами как сформировавшаяся *in situ*. По геофизическим исследованиям массив Рамберг представляет собой штокообразное тело (Фибих [3]), образованное за счет глубинного корового анатексиса в области коллизии Реногерцинской и Саксотюрингской плит.

В отличие от Рамберга массивы Брокен и Окер являются *перемещенными палингенно-метасоматическими интрузиями*. Гравиметрические исследования (Фюрер, Фибих, Йенч и Йар [3]) показали, что плутон Брокен в отличие от плутона Рамберг, малоглубинная, лакколитообразная, плитообразная структура. Гранитное тело имеет максимальную мощность в 2,5 км плотностью в 2630 кг/м³, а для гранита Ильзештейна определена мощность в 3,5 км и плотность в 2580 кг/м³ (Мельцер [3]). Породы габбрового состава, расположенные под гранитным массивом, соответствуют по плотности 3000 кг/м³. Лакколитообразной структурой обладает также массив Окер (Фукс [5]).

Таким образом, при образовании палингенных пород важнейшими признаками гранитоидного магматизма являются: отсутствие батолитов, присутствие замкнутых каравеевообразных лакколитовых форм гранитоидных тел с неглубоко залегающей подошвой (массивы Окер и Брокен), лишенных подводящих каналов расплавов; ненормальная последовательность кристаллизации пород в гранитоидных сериях палингенного происхождения.

Подкисление или «расщелачивание» исходного расплава особенно наглядно представлено в массиве Брокен с образованием нормальных, микропегматитовых, друзовых, порфириновых и других гранитов, а также в массиве Рамберг с образованием двухслюдяных гранитов и кварцслюдяной фации. Их можно объяснить «гипотезой волны кислотных компонентов» и теорией метасоматической зональности по Коржинскому [6].

При кристаллизации магм потоки восходящих сквозьмагматических и послемагматических растворов обогащаются подвижными кислотными компонентами, не входящими в состав минералов, которые быстрее других компонентов раствора просачиваются с образованием в потоке раствора «опережающей волны» повышенной концентрации кислотных компонентов. Кислотность растворов резко возрастает при конденсации или соответствующем уплотнении растворов.

В этой стадии происходит выщелачивание оснований из пород, которое обычно компенсируется осаждением кремнезема. Растворяются основания в порядке понижающейся основности, но также в зависимости от среднего состава пород в соответствии с общими закономерностями метасоматической зональности, т. е. малое содержание основного компонента благоприятствуют более раннему его выносу. Вслед за достижением максимальной кислотности наступает инверсия.

Обсуждение результатов

По петролого-геохимическим данным вышеописанные процессы в Гарце шли поступательно по отдельным этапам (рис. 4–6): 1 – пик метаморфизма приходится на район Среднегерманского кристаллического порога – частичное выплавление; 2 – подъем и внедрение магмы – плутон андезито-базальтового состава; 3 – внедрение плутона; 4 – позиция массива Брокен в направлении регионального напряжения; 5 – отщепление расплава массива Окер в пределах зоны Аккер-Брухберга.

I этап (рис. 6, позиции 1–3) – вслед за тектонической компрессией происходит частичное выплавление андезито-базальтового (толеитового) расплава и перемещение в верхнюю зону коры вблизи зоны Аккер-Брухберг.

II этап (рис. 6, позиции 4, 5) – происходит ассимиляция корового материала базальтовым расплавом и в результате формируется банатит-гранитоидная формация, сложенная габбродиорит, диорит-, кварц-диоритовыми фациями. Отщепление расплавов массива Окер. Уровень щелочности расплавов первых двух этапов эволюции соответствует I–V полям (по Коржинскому [1]). Геохимически это выражается в преобладании натрия над калием.

III этап (рис. 4, позиция 3) – отщепление массива Ильзештейна, происходит резкое смещение очагов расплавов вдоль подошвы варисцийской тектонической зоны и скольжение по Восточно-Авалонскому кристаллическому фундаменту, а вслед за этим за счет

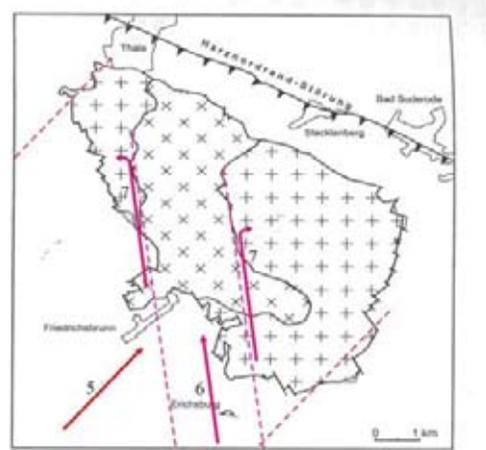
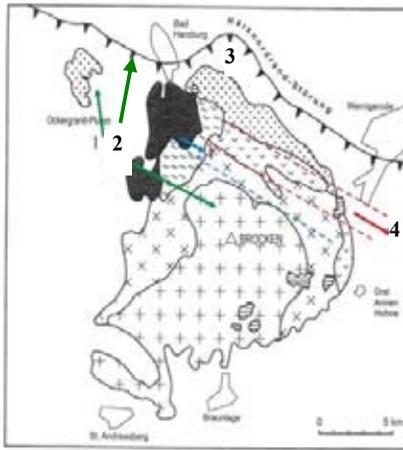


Рис. 4. 1 – отделение массива Окер; 2 – смещения в Рейнском (ЮЗ–СВ) направлении вследствие увеличения напряжений; 3 – отделение массива Ильзештейна; 4 – направления максимальных тектонических напряжений вследствие внедрения толеит-базальтового расплава. Смещения в Герцинском (СЗ–ЮВ) направлении

Рис. 5. 1 – штокообразное внедрение массива Рамберг в ЮЗ–СВ (Рейнском) направлении; 2 – активизация разломов в С–СЗ (эрггическом) направлении; 3 – поступление калиевых и кремниевых флюидов в восточную и западную части Рамберга

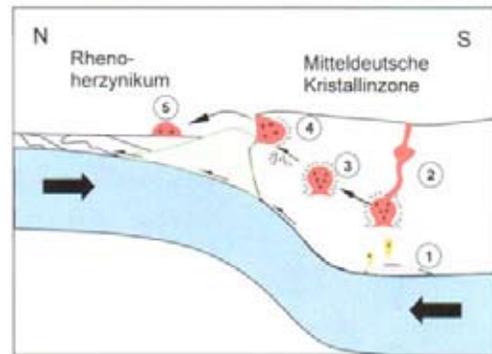
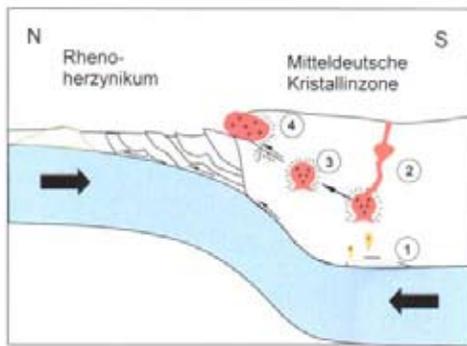


Рис. 6. Схематическая динамическая модель формирования магматизма Гарца (по Клиш)

интенсивных процессов палингенеза следует резкое повышение калиевой щелочности (микроклинизация). Вследствие этого идет формирование – отделение габбро-гарцбургитовой формации с признаками повышенной щелочности (слюдянные перидотиты) от толеитового расплава.

IV этап (рис. 4, позиция 4) – происходит дальнейшее перемещение магматических масс покровов вдоль подошвы зоны скольжения по направлению от севера-запада к юго-востоку. Следует дальнейшее повышение щелочности расплава. Интересно, что магматический очаг фактически сместился вдоль контакта массива Ильзештейн в сторону «гранодиоритовой зоны» до сочленения с массивом микропегматитовых гранитов Брокена.

В микропегматитовых гранитах сферолитовый мирмекит указывает на усиление катаклазиса в связи с усилением тектонических напряжений и тектонической деформации. Образование последних связано с повышением активности летучих и высокой температурой в приконтактной зоне [7]. Биотитовые шпильки интерпретируются как линия биотита на диаграмме парагенезиса гранитоидных пород, по Коржинскому [6], построенная в проекции Шрайнемакера. Линзовидные текстуры скольжения в окружении роговообманковых гранитов указывают на интенсивное поступление как калиевых мобилизаторов, так и кварца, необходимых для протекания реакции перехода от I на II поле щелочности [1].

Такой процесс подтверждается присутствием структуры трахитоидности и формированием гибридных пород типа: зеленый и светлый авгитовый гранит. Геохимически это выражается в еще более резком преобладании активности калия над натрием.

V этап (рис. 4) – происходит дальнейшее тектоническое смещение чехла вдоль Северного разлома Гарца и последующая ассимиляция кварцитов Аккер-Брухберга, что приводит к повышению кремнекислотности расплава и некоторому понижению уровня щелочности и выражается перитектическими смещениями вдоль котектических кривых кристаллизации расплава (от IV к II полю по Коржинскому [6]).

Петрологически это выражается в образовании бластовых структур в мелкозернистых друзовых краевых гранитах, которые интерпретируются за счет ускоренного накопления кремнеземосодержащих мобилизаторов в интерстиции минералов. По сравнению с друзовыми гранитами в вышеописанных наблюдается повышение содержания кварца, в то время как калишпат остается стабильным.

VI этап (рис. 5, позиции 5, 6) – при поднятии магмы в верхние зоны коры (рис. 6, позиция 3), очевидно, произошло внедрение штокообразного массива Рамберг в ЮЗ–СВ (Рейнском) направлении. В связи с активизацией разломов в С–СЗ (эггическом) направлении вследствие изменения направленности тектонических напряжений происходит процесс грейзенизации пород массива Рамберг с последующим формированием двуслюдянных гранитов и кварц-слюдистых измененных пород.

Выводы

Приведенная петролого-геохимическая модель указывает на миграцию в Гарце родоначального толеитового магматического очага с ЮВ на СЗ с последовательными изменениями составов расплавов в сторону образования гранитоидов за счет прогрессирующего палингенеза, магматического замещения и метасоматоза [1].

Список литературы

- [1] *Геворкян Р.Г., Клиш И.* Геохимические особенности и петрогенезис магматических пород Гарца (Германия) и Базумо-Памбакской области (Армения) Ер.: ЭДИТ ПРИНТ, 2009. 307 с.
- [2] *Mohr K.* Geologie des Harzes. E.Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller) Stuttgart, 1993. S. 496.
- [3] *Bachmann G.H., Ehling B.-C., Eichner R. und Schwab M.*: Geologie von Sachsen-Anhalt. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 2008. S. 217.
- [4] *Möbus G.* Abriss der Geologie des Harzes. В. G. Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig, 1966. S. 219.
- [5] *Fuchs W.* // Untersuchungen zur Geologie und Petrographie des Okerplutons im Harz. Clausth. Tekt. Н. 9, Clausthal-Zellerfeld, 1969. S. 111–185.
- [6] *Коржинский Д.С.* Физико-химические основы анализа парагенезиса минералов. Изд. АН СССР, 1957. 82 с.
- [7] *Клиш И., Геворкян Р.Г.* // Материалы ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии (ЕСМПГ – 2011). М.: ГЕОХИ РАН, 2011. С. 33–38.
- [8] *Павленко А.С., Филлипов Л.В., Орлова Л.П.*, Гранитоидные формации центрального Азиатского складчатого пояса. М.: Наука, 1974. 223 с.

The Dynamic Model of the Formation of Igneous Rocks of the Harz Mountains

Irina K. Klisch and Rudolf G. Gevorkyan
Yerevan State University
1 Alek Manukyan, Yerevan 025, Armenia

The present paper describes a petrological-geochemical model of migration in the Harz mountains. The tectonic magmatic core changed direction from southeast to northwest which led to stepwise alteration of the melting. Reasons for chemical alteration are progressing palingenesis, magmatic displacement and metasomatism.

Keywords: model, Harz mountains, granitoids, palingenesis, metasomatism, tectonic stresses, variscan slip zone.
