

**ГРАНИТИЗАЦИЯ И МАГМАТИЧЕСКОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ В КОНТАКТОВОМ ОРЕОЛЕ
ЮРЧИКСКОГО ГАББРОНОРИТОВОГО МАССИВА ГАНАЛЬСКОГО ХРЕБТА
КАМЧАТКИ**

И.А. Тарарин¹, В.М. Чубаров²

¹*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток*

²*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский*

Поступила в редакцию 16 октября 2007 г.

Приведены данные, свидетельствующие, что образование высокотемпературных гранулитоподобных пород в контактовом ореоле Юрчикского габброноритового интрузива Ганальского хребта Восточной Камчатки обусловлено процессами контактового метаморфизма, метасоматоза и локального плавления исходных осадочно-вулканогенных отложений вахталкинской толщи ганальской серии. Во внутренней части контактового ореола, где температура достигала 700°–800°С, основные вулканиты толщи преобразованы в двупироксен-плагиоклазовые, клинопироксен-амфибол-плагиоклазовые и амфибол-плагиоклазовые, а осадочные породы – в гранат-биотитовые и гранат-кордиерит-биотитовые роговики. В локальных участках ороговикоманные основные вулканиты подверглись метасоматическим изменениям с формированием тел биотит-ортопироксен-плагиоклазовых метасоматитов. В зонах наиболее интенсивной фильтрации флюидов метасоматиты испытали локальное магматическое замещение с образованием биотит-ортопироксен-плагиоклазовых±гранат мигматитовых прожилков и обособлений, а за счет осадочных прослоев сформировались тела гранатовых эндербитов, термодинамические условия образования которых отвечают температуре 700°–800°С и литостатическому давлению 3.2–4.8 кбар. Сравнение химического состава основных вулканитов вахталкинской толщи и продуктов их преобразования свидетельствует о том, что по химизму метасоматические изменения и магматическое замещение отвечает кремниво-щелочному метасоматозу (гранитизации) и обуславливает последовательный и неравномерный привнос в замещаемые породы Si, Al, Na, K, Rb, Ba, Zr, Nb и Cl и вынос железа, магния, марганца, кальция и некоторых рассеянных компонентов – Cr, Co, Ti, Y и S. Предполагается, что процессы метаморфизма и метасоматоза происходили под влиянием высокоминерализованных мантийных флюидов, фильтровавшихся по магматическим каналам, по которым осуществлялся подъем габброидной магмы.

Ключевые слова: роговики, основные вулканиты, метасоматоз, магматическое замещение, габбронориты, Юрчикский массив, Ганальский хребет, Камчатка.

ВВЕДЕНИЕ

Обнаружение в Ганальском хребте Камчатки Л.И. Тихомировым в 1956 году [5] высокотемпературных гранулитоподобных метаморфических пород открыло длительную дискуссию об их происхождении и фациальной принадлежности. Большинство исследователей рассматривало эти образования в качестве самостоятельного древнего комплекса сиалического фундамента Восточной Камчатки [3, 5–8, 40], на котором происходило формирование всех последующих отложений. По мнению других, эти метаморфические породы образовались при контак-

тово-реакционных процессах, обусловленных внедрением Юрчикского габброноритового интрузива [33, 35, 36, 38, 41].

В предыдущих работах авторы обращались к этому региону, рассматривая процессы эндербитизации, габброизации и магматического замещения в контактовом ореоле Юрчикского габброноритового массива [33, 35–37]. В данной работе использованы новые материалы по составу минералов и пород зоны контактового взаимодействия интрузива с вмещающими основными вулканитами и терригенными породами вахталкинской толщи ганальской серии с

целью показать развитие процессов метасоматоза и гранитизации роговиков контактового ореола под влиянием флюидных потоков.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Ганальский хребет, приуроченный к Восточному неотектоническому поднятию Камчатки, имеет характер одностороннего горста, полого погружающегося к востоку [28]. В структуре хребта выделяются четыре доэоценовых структурно-вещественных комплекса (блока): Северный, Стеновой, Вахталкинский и Южный, имеющих между собой тектонические взаимоотношения [2, 28, 31]. Предполагается, что амальгамация этих блоков происходила на протяжении эоцена–раннего миоцена, когда они были тектонически совмещены в единую структуру и разбиты на отдельные фрагменты системой левосторонних сдвигов и сопряженных с ними надвигов северо-западного направления [18, 31, 39].

Северный блок Ганальского хребта сложен терригенно-вулканогенными отложениями, метаморфизованными в условиях фации зеленых сланцев. Стеновой блок состоит из эффузивных и терригенно-эффузивно-кремнистых образований, измененных в условиях зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций. Южный блок представлен зеленокаменно измененными вулканогенными и туфо-терригенно-кремнистыми отложениями ирунейской свиты позднемиоценового возраста [5, 32].

Вахталкинский блок характеризуется наиболее сложным строением (рис. 1); в его пределах тектонически совмещены все четыре структурно-вещественных комплекса [31]. В основании разреза залегают полиметаморфические образования ганальской серии, в составе которой выделяются три толщи (снизу-вверх): вахталкинская, воеводская и дьявольская [8, 20, 28, 37]. Вахталкинская толща мощностью 800–900 м сложена амфиболитами и биотит-амфиболовыми сланцами с маломощными прослоями плагиогнейсов, дацитовых метавулканитов, кварцитов, мраморов и магнетит-гранат-амфиболовых пород. Воеводская толща (800 м) состоит из биотитовых, гранат-биотитовых и гранат-биотит-кордиеритовых плагиогнейсов и реже гнейсов и их мигматизированных разновидностей, содержащих маломощные прослои амфиболитов, кварцитов и мраморов. Дьявольская толща мощностью 2500–3000 м, венчающая разрез ганальской серии, представлена чередованием амфиболитов, биотитовых и гранат-биотитовых плагиогнейсов с редкими прослоями кварцитов и мраморов.

Залегание ганальской серии в нижней части аллохтонных пластин Вахталкинского блока и отсут-

ствии прямых геологических доказательств наличия более древних образований свидетельствуют, что отложения этой серии слагают фундамент Ганальского хребта Восточной Камчатки. Однако, по мнению [25], наличие в метаморфических породах хребта ксеногенных цирконов, сохранивших изотопную память о своем докембрийском происхождении, оставляет открытым вопрос об участии в составе глубинных частей коры Восточной Камчатки докембрийских образований.

Возраст протолита ганальской серии и время метаморфизма ее отложений являются предметом острых дискуссий. Оценки возраста, полученные по геологическим данным, K-Ar и Rb-Sr радиоизотопным исследованиям, дали очень противоречивые результаты – от докембрия до кайнозоя [3, 5–8, 38, 45]. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирование показало, что возраст метаморфизма отвечает эоцену (47–50 млн лет) [19]. Sm-Nd изохрона, полученная по валовой пробе и мономинеральным фракциям плагиоклаза, орто- и клинопироксена из габбронорита Юрчикского интрузива, соответствует возрасту 27 ± 24 млн лет, а экспериментальные точки валовой пробы и минералов гранат-ортопироксен-кордиерит-биотитового высокотемпературного плагиогнейса на эволюционной диаграмме Sm-Nd определяют возраст метаморфизма в 11 ± 19 млн лет [25]. U-Pb SHRIMP изотопные датировки этих плагиогнейсов подтверждают, что их метаморфизм и внедрение габброноритов интрузива происходили в позднем эоцене (около 35 млн лет назад) [25].

Центральное место в структуре Вахталкинского блока занимает Юрчикский габброноритовый массив овальной формы площадью около 50 км². Геофизические исследования показали, что интрузив представляет собой факолитообразное тело (до 22 км в продольной оси), лишь наполовину вскрытое в современном эрозионном срезе. Наибольшая мощность интрузива (до 1500 м) и магмоподводящие каналы фиксируются геофизическими методами в его северной части (в истоках р. Вактан Ганальский), где небольшая мощность “покрышки” вмещающих пород вахталкинской толщи, пересекаемых апофизами габброноритов (рис. 2, т.н. 373, 588), обуславливает интенсивное проявление высокотемпературных процессов ороговикования, сопровождаемого метасоматическими преобразованиями и магматическим замещением (с дебазификацией и гранитизацией) исходных отложений.

Юрчикский массив сложен габброидами двух самостоятельных фаз внедрения. Породы первой фазы, слагающие большую часть интрузива, пред-

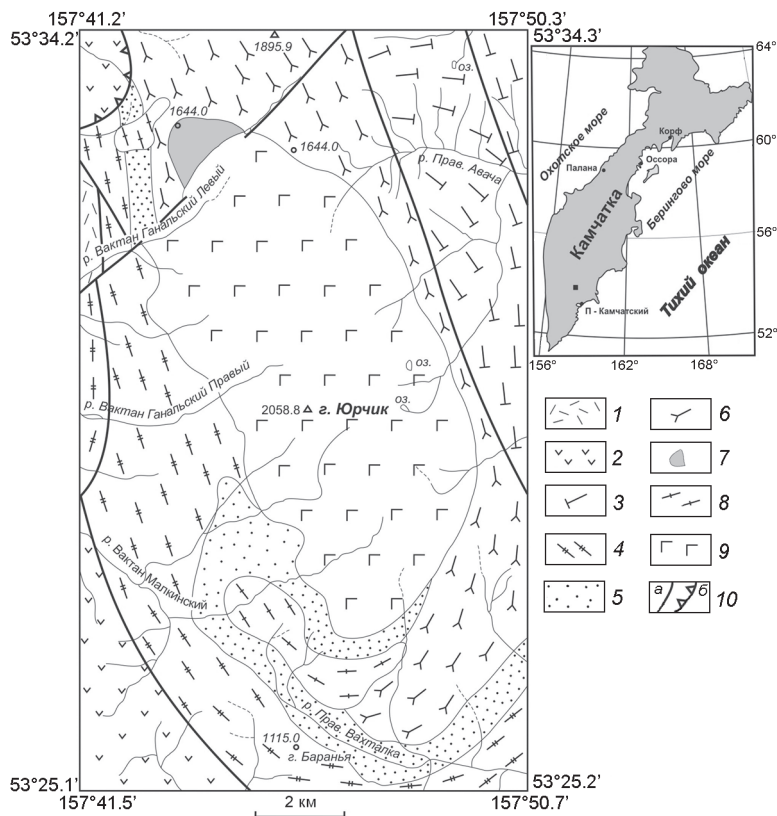


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Вахталкинского блока Ганальского хребта (составлена с использованием [20]).

1 – туфы и эффузивы неогена; 2 – пирокластический комплекс (ирунейская свита) верхнего мела (поздний кампан–маастрихт); 3 – терригенно-эффузивно-пирокластический комплекс (стенная серия нерасчлененная); 4–6 – терригенно-вулканогенный комплекс (ганальская серия): 4 – терригенно-вулканогенная (дьявольская), 5 – терригенная (воеводская), 6 – эффузивная (вахталкинская) толщи; 7 – зона интенсивного ороговикования, метасоматоза и магматического замещения пород вахталкинской толщи; 8 – гнейсированные амфибол-биотитовые плагиограниты; 9 – гнейсированные метагаббронориты и постметаморфические клинопироксен-амфиболовые габбро и перидотиты Юрчикского массива (нерасчлененные); 10 – разломы (а), надвижки (б). Положение Юрчикского интрузива на территории Камчатки показано на врезке черным квадратом.

ставлены габброноритами с жильной фацией роговообманковых перидотитов (кортландитов), мелкозернистых габброноритов и реже пироксенитов. В краевых зонах массива габбронориты интенсивно разгнейсованы, катаклазированы и регионально метаморфизованы до габброамфиболитов. Этот наложенный метаморфизм амфиболитовой фации происходил одновременно и изофациально с метаморфизмом пород ганальской серии, обусловив диффторез габброидов и формирование в них мигматитовых прожилков и обособлений горнблендитового и амфибол-плагиоклазового состава [34, 35, 41]. Поздние (постметаморфические) габброиды второй фазы варьируют по составу от лерцолитов, верлитов, троктолитов и вебстеритов до преобладающих клинопироксен-амфиболовых меланократовых габбро. Наиболее широкое развитие постметаморфические габброиды получили в восточной и южной частях интрузива, где их многочисленные тела прорывают ранние метагаббронориты и вме-

щающие породы ганальской серии [35, 37, 38]. По последним $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и U-Pb SHRIMP радиоизотопным определениям внедрение поздних габброидов датируется границей олигоцена и миоцена (устное сообщение Э.Г. Конникова).

Метагаббронориты Юрчикского массива состоят из плагиоклаза An_{45-65}^* , клинопироксена $Wo_{42-46}En_{39-40}Fs_{14-18}$, ортопироксена $Wo_{1-3}En_{63-65}Fs_{33-38}$, магнезиальной роговой обманки (по номенклатуре [44]) и аксессуарных апатита, ильменита, магнетита и цинксодежающей железисто-глиноземистой шпинели (до 2–5 мас. % ZnO). Постметаморфические клинопироксен-амфиболовые габбро сложены основным плагиоклазом An_{60-90} , магнезиальной роговой обманкой и содержат небольшое количество Cr-содержащего авгита $Wo_{37-46}En_{41-47}Fs_{12-16}$, апатита и рудных минералов (магнетит, ильменит и реже пирротин, халькопирит и пентландит) [37].

Внедрение Юрчикского интрузива обусловило интенсивные процессы ороговикования вмещающих

* В статье приняты следующие символы: *Alm* – алмадин, *An* – содержание анортитовой молекулы в плагиоклазе, *Ap* – апатит, *Bt* – биотит, *Crd* – кордиерит, *Cpx* – клинопироксен, *En* – энстатит, *Fs* – ферросилит, *Grt* – гранат, *Grs* – гроссуляр, *Hbl* – амфибол, *Ilm* – ильменит, *Opx* – ортопироксен, *Or* – калиевый полевой шпат, *Pl* – плагиоклаз, *Prp* – пироп, *Sps* – спессартин, *Spl* – шпинель, *Wo* – волластонит. С – центр, г – край кристалла. $X_{Mg} = \text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe} + \text{Mn})$, $X_{An} = \text{Ca}/(\text{Ca} + \text{Na} + \text{K})$. Анализы выполнены на микроанализаторе Camebax в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

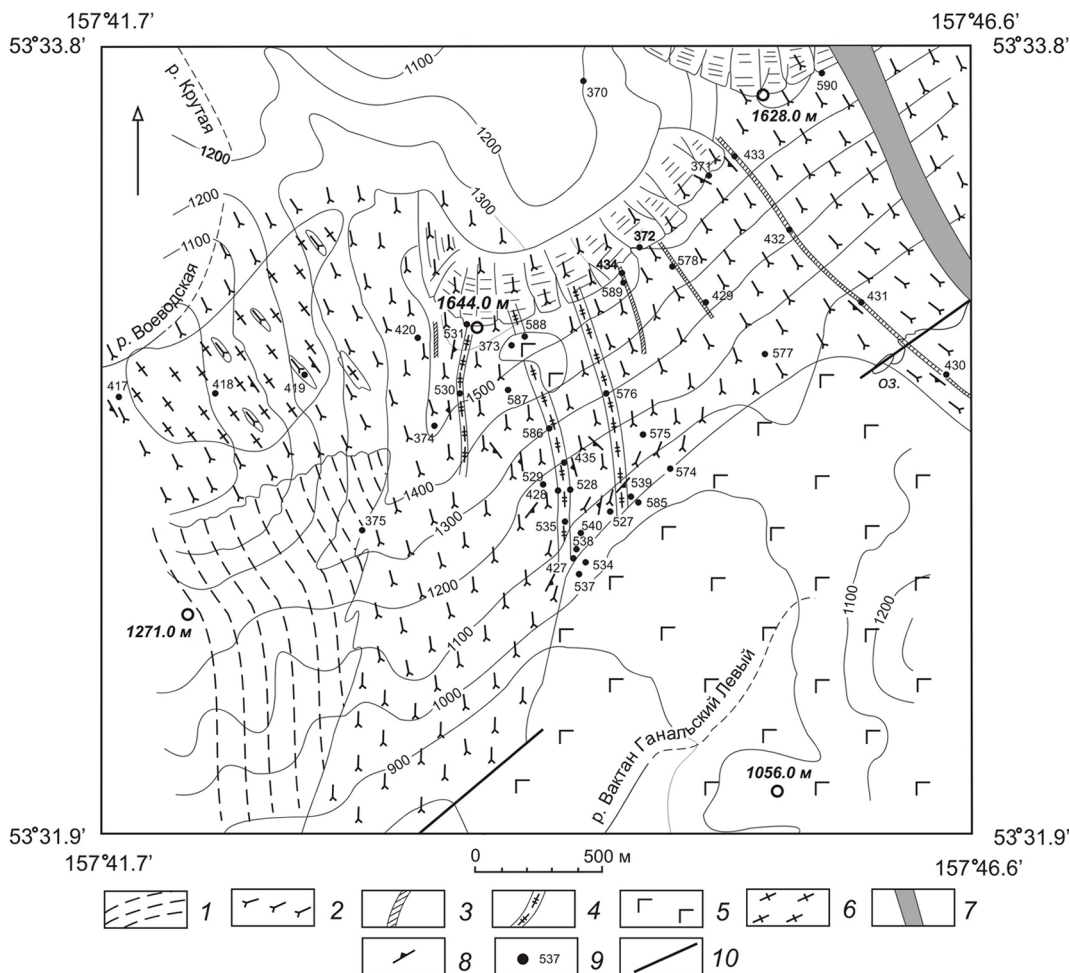


Рис. 2. Схема геологического строения контактового ореола северной части Юрчикского интрузива.

1–2 – метаморфические образования ганальской серии: биотитовые и гранат-биотитовые плагиогнейсы воеводской толщи (1), амфиболовые, клинопироксен-амфиболовые и двупироксен-амфиболовые роговики по основным вулканитам вахталкинской толщи, биотит-ортопироксен-плаггиоклазовые метасоматиты (2), 3 – прослой биотитовых и гранат-биотитовых роговики, 4 – тела гранатовых эндербитов и плагиогнейсов, 5 – гнейсированные метагаббронориты, 6 – гнейсированные амфибол-биотитовые метаплагиограниты, 7 – зона интенсивной пиритизации пачки переслаивания кремнекислых (дацитовых) и основных метавулканитов, 8 – элементы залегания сланцеватости, гнейсовидности, полосчатости, 9 – точки наблюдений, 10 – тектонические нарушения.

осадочно-вулканогенных пород вахталкинской толщи и превращение их в амфиболовые, клинопироксен-амфиболовые и двупироксен-амфиболовые высокотемпературные роговики. Обычно падение контактовых поверхностей интрузива очень крутое (близкое к вертикальному), что определило небольшую мощность высокотемпературных контактовых роговики (до первых десятков метров), и только в северной части контактового ореола (рис. 1) мощность высокотемпературного ороговикования достигает нескольких сотен метров.

Роговики – серые и темно-серые мелкозернистые (размер кристаллов не превышает 0.5–1.0 мм) полосчатые породы гранобластовой структуры. В

их составе главную роль играет буровато-зеленая магнезиальная роговая обманка или железистый паргасит ($X_{Mg}=0.60-0.67$, табл. 1) – 30–60 об. % и плагиоклаз ($X_{An}=0.80-0.45$), к которым в пироксеносодержащих разностях присоединяется клинопироксен ($X_{Mg}=0.685-0.770$) и реже ортопироксен ($X_{Mg}=0.70-0.72$; табл. 2, обр.427-Д, обр. 537-С). Для пород характерно повышенное содержание апатита, сфена и рудных минералов (магнетит, ильменит, пирротин и халькопирит). Пироксены в роговиках обычно локализуются в самостоятельных весьма невыдержанных по мощности полосках или чаще наблюдаются в тесной ассоциации с амфиболом и плагиоклазом.

По всему разрезу вахталкинской толщи среди основных метавулканитов отмечаются маломощные (от 10–20 сантиметров до 2–3, реже до 10–15 и более метров) прослои терригенных пород, превращенных в биотитовые, гранат-биотитовые, гранат-кордиерит-биотитовые±ортопироксен роговики (а вне контактового ореола – в гранат-биотитовые и гранат-кордиерит-биотитовые плагиогнейсы и их мигматизированные разности), ориентированные согласно полосчатости исходных вулканитов (рис. 2). Мощность прослоев осадочных пород увеличивается вверх по разрезу по направлению к контактам воеводской толщи, достигая мощности 20–50 м (рис. 2). Прослои терригенных пород интенсивно будинированны и “расташены” на отдельные фрагменты (рис. 3). Их тела содержат будинированные прослои амфиболовых и клинопироксен-амфиболовых±ортопироксен роговиков размером от нескольких сантиметров до нескольких метров.

В средней части вахталкинской толщи (рис. 2) наблюдается 150-метровая зона, в которой ороговикомованные основные метавулканиты переслаиваются с более кремнекислыми метавулканитами, имеющими мощность от 10–20 см до 15–20 м. Кремнекислые метавулканиты – светло-серые полосчатые породы исходного дацитового состава. Полосчатость подчеркивается линзовидными скоплениями роговой обманки и цепочками альмандин-спессартинового граната ($X_{Mg}=0.107$; $Alm - 45\%$, $Prp - 10$, $Sps - 35$, $Grs - 10$) в ортоклаз-биотит-плагиоклаз-кварцевой±ортопироксен основной массе. Породы обогащены пиритом, выщелачивание которого придает всей зоне “ржавый” облик, хотя общая мощность кремнекислых образований не превышает 30 % мощности зоны.

Вниз по разрезу вахталкинской толщи, вдоль водораздельного хребта от высоты 1644.0 м на северо-восток в сторону г. Тумхан (1895.9 м) и далее в истоки р. Прав. Авача (рис. 1) с удалением от контактов с габбридами Юрчикского интрузива роговики сменяются амфиболовыми и биотит-амфиболовыми сланцами, образовавшимися при региональном метаморфизме, охватившем породы ганальской серии (в том числе и роговики контактового ореола) и габброиды интрузива. Процессы регионального метаморфизма обусловили интенсивные диафорические преобразования высокотемпературных роговиков ореола и габброноритов эндоконтактовых зон массива (до габброамфиболитов) и формирование в них многочисленных мигматитовых прожилков и обособлений горнблендитового, амфибол-плагиоклазового и плагиоклазового состава мощностью от первых до нескольких десятков сантиметров, ориенти-

рованных преимущественно по полосчатости или гнейсовидности пород.

Регионально метаморфизованные амфиболовые сланцы вахталкинской толщи (вне зоны контактового ореола) содержат маломощные (от первых сантиметров до 2–3 м) прослои биотитовых и реже гранат-биотитовых плагиогнейсов, количество которых значительно меньше, чем в средних и верхних ее частях. Амфиболовые сланцы состоят из чермакита или чермакитовой роговой обманки, плагиоклаза An_{32-35} , магнетита и ильменита, к которым нередко присоединяется биотит (табл. 1, обр. 593, 595, 532-А, 533).

МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МАГМАТИЧЕСКОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ

Роговики в локальных участках контактового ореола подверглись щелочно-кремнекислотным метасоматическим преобразованиям, интенсивность которых сильно варьирует, определяясь, вероятно, наличием зон трещиноватости, проницаемых для метасоматических флюидов. Метасоматически измененные породы редко образуют крупные выходы, чаще это неправильной формы участки ограниченных размеров в ороговикомованных основных вулканитах вахталкинской толщи, иногда величиной всего несколько десятков квадратных сантиметров. Наиболее крупные выходы метасоматитов приурочены к будинированным прослоям кремнекислых роговиков по осадочным породам (рис. 3). Вероятно, границы между различными по литологическому составу породами явились наиболее проницаемыми путями для миграции флюидных компонентов.

На начальных этапах метасоматического преобразования в основных роговиках формировались отдельные мелкие кристаллы ортопироксена (обычно совместно с биотитом), корродирующие и замещающие роговую обманку исходных пород (рис. 4). Новообразованный ромбический пироксен отличается большей железистостью по сравнению с ортопироксеном роговиков. Значительно реже в метасоматитах в парагенезисе с ортопироксеном формируется новообразованный клинопироксен, более железистый, чем моноклинный пироксен, образующийся при ороговикомовании основных вулканитов (табл. 2, обр. 427-И).

Усиление метасоматических процессов приводит к почти полной резорбции и замещению всех темноцветных минералов роговиков новообразованной биотит-ортопироксен-плагиоклазовой ассоциацией тонко- и мелкозернистых метасоматитов (рис. 5) и появлению в них маломощных лейкократовых биотит-ортопироксен-плагиоклазового±гранат состава

Таблица 1. Представительные микронзондовые анализы минералов амфиболовых и пироксен-амфиболовых роговиков по основным вулканитам вахталкинской толщи.

Компо- нент	Обр. 537-И				Обр. 427				Обр. 427-В				Обр. 539		
	<i>Cpx_r</i>	<i>Hbl_r</i>	<i>Pl_r</i>	<i>Spl</i>	<i>Cpx_r</i>	<i>Hbl_r</i>	<i>Pl_r</i>	<i>Bt</i>	<i>Cpx_r</i>	<i>Hbl_r</i>	<i>Pl_r</i>	<i>Opx_r</i>	<i>Cpx</i>	<i>Hbl_r</i>	<i>Pl_r</i>
SiO ₂	51.30	41.56	51.58	0.00	52.09	40.04	52.10	36.76	53.13	44.91	50.29	53.02	52.87	44.59	53.16
TiO ₂	0.36	2.85	0.00	0.04	0.26	3.21	0.00	4.46	0.03	1.28	0.00	0.00	0.00	1.54	0.00
Al ₂ O ₃	3.06	12.36	30.70	58.04	2.71	12.80	30.47	15.69	1.74	10.74	32.10	1.47	0.78	11.56	29.83
FeO	7.83	13.02	0.31	29.53	7.16	12.38	0.34	13.48	7.53	11.98	0.36	20.87	7.25	11.56	0.47
MnO	0.27	0.20	0.00	1.60	0.27	0.15	0.00	0.09	0.33	0.20	0.00	0.74	0.23	0.23	0.00
MgO	13.09	12.22	0.00	4.60	13.54	10.92	0.00	14.68	14.83	14.06	0.00	23.75	13.88	13.67	0.00
CaO	22.39	11.68	13.13	0.00	23.88	11.86	12.47	0.02	22.38	11.06	14.75	0.32	24.37	10.98	12.32
Na ₂ O	0.29	1.73	4.11	0.00	0.53	3.31	3.08	0.00	0.17	2.06	3.31	0.00	0.00	1.95	4.41
K ₂ O	0.00	1.61	0.12	0.00	0.00	1.86	1.41	10.26	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.38	0.17
Сумма	98.59	97.23	99.95	100.03*	100.44	96.53	99.87	95.44	100.14	96.64	100.81	100.17	99.38	96.46	100.36
<i>X_{Mg}</i>	0.742	0.622	-	0.208	0.764	0.608	-	0.658	0.771	0.673	-	0.662	0.768	0.674	-
<i>X_{An}</i>	-	-	0.634	-	-	-	0.632	-	-	-	0.711	-	-	-	0.601
<i>Wo</i>	47.9	-	-	-	49.4	-	-	-	45.8	-	-	0.6	49.4	-	-
<i>En</i>	39.0	-	-	-	39.0	-	-	-	42.2	-	-	66.6	39.1	-	-
<i>Fs</i>	13.1	-	-	-	11.6	-	-	-	12.0	-	-	32.8	11.5	-	-

Компо- нент	Обр. 539	Обр. 539-Ц				Обр. 537-Л					Обр. 537-С				Обр. 528-В
	<i>Opx_r</i>	<i>Hbl_r</i>	<i>Pl_r</i>	<i>Opx_r</i>	<i>Bt</i>	<i>Cpx_r</i>	<i>Hbl_r</i>	<i>Pl_r</i>	<i>Opx_r</i>	<i>Bt</i>	<i>Cpx_r</i>	<i>Hbl_r</i>	<i>Pl_r</i>	<i>Opx_r</i>	<i>Cpx</i>
SiO ₂	53.58	43.83	50.43	52.53	36.75	52.28	40.18	48.34	54.74	37.13	52.77	47.19	51.42	54.20	53.33
TiO ₂	0.06	1.59	0.00	0.05	2.67	0.11	1.42	0.00	0.02	4.56	0.14	1.01	0.00	0.00	0.03
Al ₂ O ₃	1.60	11.47	31.84	1.59	15.56	1.85	15.12	33.04	1.28	14.51	2.45	9.70	31.77	1.33	1.12
FeO	20.45	11.73	0.32	20.20	17.37	8.86	11.53	0.29	21.48	13.48	7.19	8.81	0.24	16.86	7.74
MnO	0.57	0.26	0.00	0.65	0.40	0.45	0.21	0.00	1.02	0.14	0.95	0.32	0.00	1.24	0.26
MgO	23.42	13.73	0.00	23.69	12.84	13.55	12.70	0.00	21.08	14.95	14.32	15.99	0.00	25.19	13.91
CaO	0.54	11.00	14.54	0.42	0.06	21.92	11.91	15.63	0.49	0.03	21.97	11.32	14.07	0.50	21.88
Na ₂ O	0.00	2.25	3.15	0.00	0.00	0.39	2.28	2.45	0.43	0.03	0.11	1.22	3.19	0.00	0.03
K ₂ O	0.00	0.38	0.01	0.00	9.86	0.00	2.57	0.05	0.00	10.07	0.00	1.01	0.18	0.00	0.00
Сумма	100.22	96.24	100.29	99.13	95.51	99.41	97.92	99.80	100.54	95.16	99.90	96.57	100.87	99.32	98.30
<i>X_{Mg}</i>	0.665	0.671	-	0.669	0.563	0.722	0.658	-	0.625	0.662	0.758	0.757	-	0.712	0.756
<i>X_{An}</i>	-	-	0.718	-	-	-	-	0.777	-	-	-	-	0.705	-	-
<i>Wo</i>	1.1	-	-	0.9	-	46.0	-	-	1.0	-	46.3	-	-	1.0	46.3
<i>En</i>	66.4	-	-	67.0	-	39.5	-	-	63.0	-	41.9	-	-	72.0	40.9
<i>Fs</i>	32.5	-	-	32.1	-	14.5	-	-	36.0	-	11.8	-	-	27.0	12.8

Компо- нент	Обр. 528-В					Обр. 595			Обр. 593		Обр. 533		Обр. 532-А	
	<i>Hbl</i>	<i>Pl^I</i>	<i>Pl^{II}</i>	<i>Opx_r</i>	<i>Bt</i>	<i>Hbl_r</i>	<i>Pl_r</i>	<i>Bt</i>	<i>Hbl_r</i>	<i>Pl_r</i>	<i>Hbl</i>	<i>Pl_r</i>	<i>Hbl_r</i>	<i>Pl_r</i>
SiO ₂	46.45	57.17	58.38	53.38	38.37	43.24	60.70	37.45	43.33	60.62	44.56	60.22	44.04	57.12
TiO ₂	1.53	0.00	0.00	0.05	3.96	0.38	0.00	1.55	0.37	0.00	0.27	0.00	0.29	0.00
Al ₂ O ₃	9.99	27.11	27.27	1.59	14.27	13.72	24.85	16.96	14.20	25.00	13.72	24.13	14.50	27.29
FeO	9.89	0.38	0.26	21.10	12.67	16.62	0.29	16.05	16.42	0.20	15.34	0.37	16.28	0.20
MnO	0.17	0.00	0.00	0.91	0.08	0.16	0.00	0.00	0.45	0.00	0.29	0.00	0.35	0.00
MgO	14.07	0.00	0.00	22.64	16.02	11.56	0.00	15.13	11.08	0.00	11.41	0.00	10.15	0.00
CaO	10.88	9.16	9.68	0.68	0.08	10.63	6.30	0.02	10.81	6.47	10.91	6.55	11.14	9.09
Na ₂ O	1.27	6.57	6.05	0.00	0.00	1.74	8.03	0.00	1.86	7.93	1.73	7.89	1.60	6.41
K ₂ O	0.78	0.07	0.36	0.00	10.18	0.42	0.13	9.48	0.31	0.05	0.26	0.05	0.33	0.07
Сумма	95.03	100.46	100.00	100.35	95.63	98.47	100.30	96.64	99.33	100.27	98.49	99.21	98.68	100.18
<i>X_{Mg}</i>	0.714	-	-	0.647	0.691	0.551	-	0.627	0.532	-	0.566	-	0.521	-
<i>X_{An}</i>	-	0.434	0.460	-	-	-	0.300	-	-	0.310	-	0.304	-	0.438
<i>Wo</i>	-	-	-	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>En</i>	-	-	-	64.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Fs</i>	-	-	-	33.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание. * – В сумму дополнительно включено 0.83 мас. % Cr₂O₃ и 5.39 мас. % ZnO.

Таблица 2. Представительные микронзондовые анализы минералов основных роговиков, биотит-ортопироксен-плагиоклазовых метасоматитов и лейкократовых мигматитовых прожилков и обособлений.

Компонент	Обр. 427-Д								Обр. 427-И						
	Срх-Pl роговик		Метасоматически измененный Срх-Орх-Pl роговик			Вт-Орх-Pl метасоматит			Вт-Срх-Орх-Нbl-Pl метасоматит					Вт-Срх-Орх-Pl мигматитовый прожилок	
	Cpx_r	Pl_r	Opx_r	Cpx_r	Pl_r	Opx_r	Bt	Pl_r	Cpx_r	Opx_r	Hbl	Bt	Pl^I	Pl^2	Cpx_r
SiO ₂	51.49	47.01	53.73	50.80	55.00	53.36	37.86	57.03	51.19	51.73	45.23	35.44	49.87	55.83	50.95
TiO ₂	0.09	0.00	0.00	0.17	0.00	0.01	3.94	0.00	0.04	0.09	0.74	3.52	0.00	0.00	0.02
Al ₂ O ₃	1.91	33.59	1.08	2.21	28.73	1.14	14.30	26.98	1.29	0.73	8.86	15.46	31.87	28.24	1.34
FeO	7.53	0.86	17.54	7.91	0.25	18.02	11.28	0.23	13.27	31.40	16.76	20.06	0.20	0.41	14.25
MnO	0.38	0.00	0.97	0.35	0.00	0.95	0.01	0.00	0.43	0.95	0.19	0.11	0.00	0.00	0.34
MgO	14.71	0.00	25.49	14.66	0.00	25.41	17.51	0.00	10.98	15.33	11.10	10.48	0.00	0.00	10.86
CaO	22.19	16.33	0.68	21.37	10.26	0.73	0.29	9.03	21.53	0.98	10.97	0.18	14.36	9.71	20.93
Na ₂ O	0.56	2.35	0.00	0.53	5.62	0.00	0.02	5.41	0.00	0.00	0.54	0.00	2.94	6.49	0.00
K ₂ O	0.21	0.28	0.23	0.17	0.64	0.17	9.99	0.57	0.00	0.00	0.81	8.78	0.15	0.28	0.00
Сумма	99.07	100.42	99.72	98.17	100.50	99.79	95.20	99.25	98.78 ¹	101.21	95.65 ²	94.14 ³	99.39	100.96	98.69
X_{Mg}	0.768	-	0.710	0.760	-	0.705	0.734	-	0.588	0.458	0.539	0.481	-	-	0.570
X_{An}	-	0.781	-	-	0.484	-	-	0.463	-	-	-	-	0.723	0.446	-
Wo	45.7	-	1.4	44.6	-	1.5	-	-	45.7	2.1	-	-	-	-	44.4
En	42.2	-	71.1	42.5	-	70.5	-	-	32.4	45.6	-	-	-	-	32.0
Fs	12.1	-	27.5	12.9	-	28.0	-	-	21.9	52.3	-	-	-	-	23.6
T°C	804 (Срх-Орх)								700 (Срх-Орх)					700 (Срх-Орх)	

Компонент	Обр. 427-И				Обр. 427-Н											
	Вт-Срх-Орх-Pl мигматитовый прожилок				Нbl-Pl роговик			Вт-Орх-Pl метасоматит				Вт-Нbl-Орх-Pl мигматитовый прожилок				
	Opx_r	Bt	Pl^I	Pl^2	Hbl_r	Bt	Pl_r	Opx_r	Hbl_r	Bt	Pl_r	Opx_r	Hbl_r	Bt	Pl_r	
SiO ₂	49.88	34.23	50.21	56.20	46.83	37.50	56.46	52.79	47.84	37.91	56.36	53.06	47.52	38.12	56.99	
TiO ₂	0.00	4.94	0.00	0.00	0.94	3.58	0.00	0.03	0.59	2.13	0.00	0.00	0.75	2.43	0.00	
Al ₂ O ₃	0.61	14.94	31.51	27.87	10.46	15.69	27.34	1.25	8.65	17.07	27.59	1.14	10.27	15.54	27.18	
FeO	33.07	20.83	0.44	0.34	12.85	13.80	0.27	21.41	14.27	9.61	0.29	22.27	12.99	12.15	0.58	
MnO	0.80	0.06	0.00	0.00	0.62	0.23	0.00	5.90	2.42	0.36	0.00	3.23	1.21	0.52	0.00	
MgO	14.20	9.03	0.00	0.00	14.29	15.70	0.00	19.23	14.30	16.60	0.00	20.70	13.82	16.17	0.00	
CaO	0.84	0.06	13.74	9.37	10.69	0.08	9.14	0.58	8.04	0.06	9.12	0.58	10.33	0.11	9.37	
Na ₂ O	0.00	0.00	3.37	6.03	1.10	0.00	6.76	0.00	0.67	0.10	6.06	0.00	1.29	0.01	6.22	
K ₂ O	0.00	9.01	0.11	0.34	0.44	9.32	0.10	0.00	0.40	9.80	0.21	0.00	0.41	9.20	0.29	
Сумма	99.40	93.51 ⁴	99.38	100.15	98.22	95.40	100.07	101.19	97.18	93.64	99.63	100.98	98.59	94.25	100.63	
X_{Mg}	0.428	0.436	-	-	0.654	0.666	-	0.556	0.604	0.748	-	0.591	0.634	0.695	-	
X_{An}	-	-	0.688	0.453	-	-	0.425	-	-	-	0.448	-	-	-	0.447	
Wo	1.8	-	-	-	-	-	-	1.3	-	-	-	1.2	-	-	-	
En	42.6	-	-	-	-	-	-	60.7	-	-	-	61.6	-	-	-	
Fs	55.6	-	-	-	-	-	-	38.0	-	-	-	37.2	-	-	-	
T°C	700 (Срх-Орх)															

Таблица 2. Продолжение.

Компо- нент	Обр. 537-С								Обр. 576							
	Срх-Орх-Pl роговик				Вт-Hbl-Орх-Pl мигматитовый прожилок				Вт-Орх-Pl-Ог метасоматит				Вт-Орх-Pl –Ог мигматитовый прожилок			
	Cpx_r	Opx_r	Hbl_r	Pl_r	Opx_r	Hbl_r	Bt	Pl_r	Opx_r	Bt	Pl^1	Pl^2	Opx_r	Bt	Pl_r	
SiO ₂	52.77	54.20	47.19	51.42	53.90	46.31	38.47	56.68	48.21	36.48	56.68	59.47	50.44	35.70	60.09	
TiO ₂	0.14	0.00	1.01	0.00	0.00	0.95	3.09	0.00	0.04	4.36	0.00	0.00	0.06	5.13	0.00	
Al ₂ O ₃	2.45	1.33	9.70	31.77	1.35	9.95	13.99	28.37	8.76	17.20	28.37	25.89	4.86	15.99	25.07	
FeO	7.19	16.86	8.81	0.24	18.45	10.56	9.14	0.38	21.74	13.53	0.38	0.09	21.74	15.09	0.23	
MnO	0.95	1.24	0.32	0.00	2.04	0.51	0.17	0.00	1.19	0.20	0.00	0.00	1.06	0.15	0.00	
MgO	14.32	25.19	15.99	0.00	23.61	15.08	17.97	0.00	20.19	13.01	0.00	0.00	22.04	13.09	0.00	
CaO	21.97	0.50	11.32	14.07	0.49	11.67	0.00	9.54	0.14	0.02	9.54	7.26	0.10	0.00	7.19	
Na ₂ O	0.11	0.00	1.22	3.19	0.00	1.11	0.00	6.08	0.00	0.00	6.08	7.88	0.00	0.00	7.63	
K ₂ O	0.00	0.00	1.01	0.18	0.00	1.26	10.58	0.33	0.00	10.40	0.33	0.22	0.00	10.39	0.42	
Сумма	99.90	99.32	96.57	100.87	99.84	97.40	93.41	101.38	100.27	95.20	101.38	100.81	100.30	95.54	100.63	
X_{Mg}	0.758	0.712	0.757	-	0.672	0.708	0.775	-	0.611	0.628	-	-	0.633	0.605	-	
X_{An}	-	-	-	0.705	-	-	-	0.456	-	-	0.456	0.333	-	-	0.334	
Wo	46.3	1.0	-	-	1.0	-	-	-	0.3	-	-	-	0.2	-	-	
En	41.9	72.0	-	-	68.8	-	-	-	61.2	-	-	-	64.2	-	-	
Fs	11.8	27.0	-	-	30.2	-	-	-	37.5	-	-	-	35.6	-	-	
T°C	799 (Срх-Орх)															

Компо- нент	Обр. 585-Д					Обр. 539-Ж					Обр. 540-Л				
	Вт-Орх-Pl метасоматит			Вт-Орх-Pl мигматитовый прожилок		Орх-Pl метасоматит		Вт-Орх-Pl мигматитовый прожилок			Вт-Срх-Орх-Pl метасоматит				
	Opx_r	Bt	Pl_r	Opx_r	Pl_r	Opx_r	Pl_r	Opx_r	Bt	Pl_r	Opx_r	Bt	Pl^1	Pl^2	Cpx_r
SiO ₂	52.33	37.47	55.36	52.53	57.62	51.61	58.33	51.58	36.89	58.06	51.83	37.76	51.14	53.82	52.71
TiO ₂	0.00	5.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.18	4.25	0.00	0.69	4.16	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	1.94	15.68	28.63	1.16	27.42	3.87	26.17	2.58	15.29	26.63	0.66	14.81	31.30	29.62	0.67
FeO	22.62	12.66	0.47	21.42	0.19	23.33	0.44	23.44	13.96	0.21	27.37	13.92	0.43	0.35	10.00
MnO	0.61	0.10	0.00	0.80	0.00	1.57	0.00	1.06	0.06	0.00	0.49	0.02	0.00	0.00	0.19
MgO	21.62	14.29	0.00	21.51	0.00	19.60	0.00	21.51	13.86	0.00	18.71	14.04	0.00	0.00	13.43
CaO	0.42	0.02	10.49	0.64	9.11	0.16	8.19	0.14	0.02	8.38	0.65	0.02	14.14	12.16	21.77
Na ₂ O	0.00	0.00	5.30	0.00	6.23	0.00	6.50	0.00	0.00	6.30	0.00	0.00	3.52	4.58	0.00
K ₂ O	0.00	10.62	0.40	0.00	0.63	0.00	0.55	0.00	10.28	0.61	0.00	9.61	0.10	0.12	0.00
Сумма	99.54	95.76	100.65	98.09	101.20	100.14	100.18	100.49	94.61	100.19	100.40	94.89 ⁵	100.63	100.65	98.77
X_{Mg}	0.624	0.666	-	0.663	-	0.584	-	0.610	0.638	-	0.548	0.642	-	-	0.701
X_{An}	-	-	0.510	-	0.431	-	0.398	-	-	0.409	-	-	0.686	0.591	-
Wo	0.9	-	-	1.3	-	0.4	-	0.3	-	-	1.3	-	-	-	45.1
En	62.5	-	-	63.3	-	59.7	-	61.9	-	-	54.2	-	-	-	38.7
Fs	36.6	-	-	35.4	-	39.6	-	37.8	-	-	44.5	-	-	-	16.2
T°C															

Таблица 2. Окончание.

Компо- нент	Обр. 540-Л				Обр. 427-Л										
	Вт-Орх-Pl мигматитовый прожилок				Вт-Орх-Pl метасоматит			Grt-Вт-Pl мигматитовый прожилок				Вт-Орх-Pl мигматитовый прожилок			
	<i>Opx_c</i>	<i>Opx_r</i>	<i>Bt</i>	<i>Pl_r</i>	<i>Opx_r</i>	<i>Bt</i>	<i>Pl_r</i>	<i>Grt_c</i>	<i>Grt_r</i>	<i>Bt</i>	<i>Pl_r</i>	<i>Opx_r</i>	<i>Bt</i>	<i>Hbl</i>	<i>Pl_r</i>
SiO ₂	51.30	51.58	36.44	58.07	51.60	34.83	54.89	37.96	37.56	35.10	58.12	51.08	35.15	45.37	55.85
TiO ₂	0.02	0.05	4.46	0.00	0.20	4.84	0.00	0.00	0.00	4.16	0.00	0.01	4.04	0.45	0.00
Al ₂ O ₃	1.21	0.98	14.82	26.95	0.81	14.83	28.77	22.11	22.02	15.24	26.68	0.67	14.38	9.10	28.40
FeO	29.74	28.88	17.77	0.27	28.58	23.05	0.55	27.59	28.13	23.01	0.11	30.69	23.17	16.68	0.29
MnO	0.62	0.64	0.05	0.00	0.77	0.18	0.00	6.21	5.79	0.20	0.00	0.80	0.08	0.14	0.00
MgO	17.78	17.02	11.69	0.00	16.30	7.98	0.00	4.30	3.75	8.49	0.00	16.10	8.54	11.64	0.00
CaO	0.39	0.43	0.03	8.57	0.91	0.02	10.95	3.57	3.75	0.00	8.48	0.70	0.01	11.03	10.02
Na ₂ O	0.00	0.00	0.03	6.43	0.00	0.00	5.32	0.00	0.00	0.00	6.88	0.00	0.00	0.86	5.80
K ₂ O	0.00	0.00	10.00	0.28	0.00	9.06	0.22	0.00	0.00	9.61	0.21	0.00	9.17	0.82	0.03
Сумма	101.06	99.58	95.29	100.59	99.17	94.83	100.70	101.73	101.64	95.81	100.48	100.05	94.54	96.13	100.40
<i>X_{Mg}</i>	0.511	0.507	0.540	-	0.497	0.380	-	0.184	0.166	0.395	-	0.477	0.396	0.552	-
<i>X_{An}</i>	-	-	-	0.417	-	-	0.525	<i>Alm</i> -59.9	<i>Alm</i> -62.5	-	0.400	-	-	-	0.488
<i>Wo</i>	0.8	0.9	-	-	2.0	-	-	<i>Prp</i> -16.6	<i>Prp</i> -15.3	-	-	1.5	-	-	-
<i>En</i>	51.2	50.8	-	-	49.4	-	-	<i>Sps</i> -13.6	<i>Sps</i> -14.3	-	-	47.6	-	-	-
<i>Fs</i>	48.0	48.3	-	-	48.6	-	-	<i>Grs</i> -9.9	<i>Grs</i> -7.9	-	-	50.9	-	-	-
<i>T</i> °C								734 (Grt-Bt)							

Примечание. В сумму дополнительно включено V₂O₃ (мас. %): 1 – 0.05; 2 – 0.35; 3 – 0.11; 4 – 0.36; 5 – 0.55.

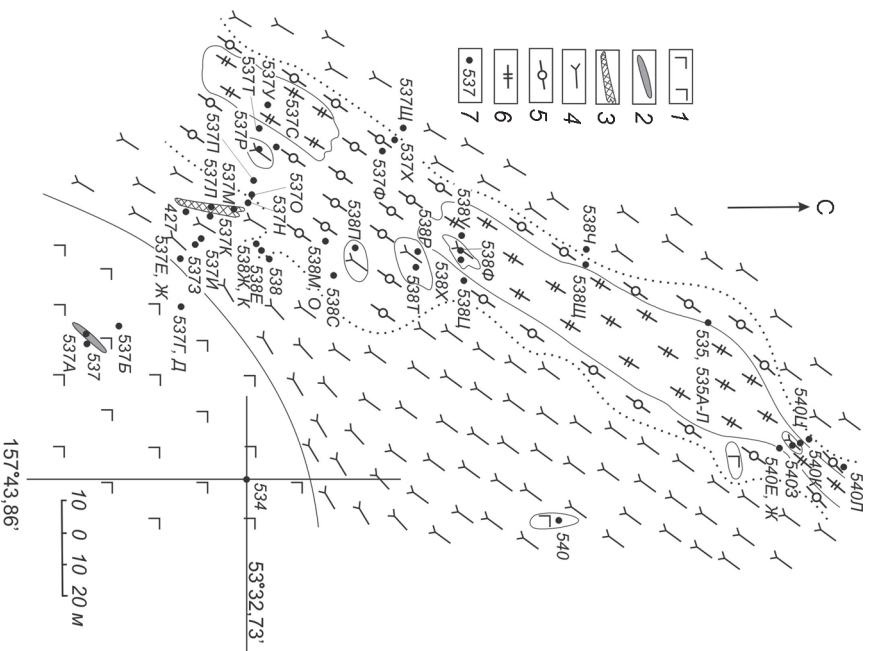


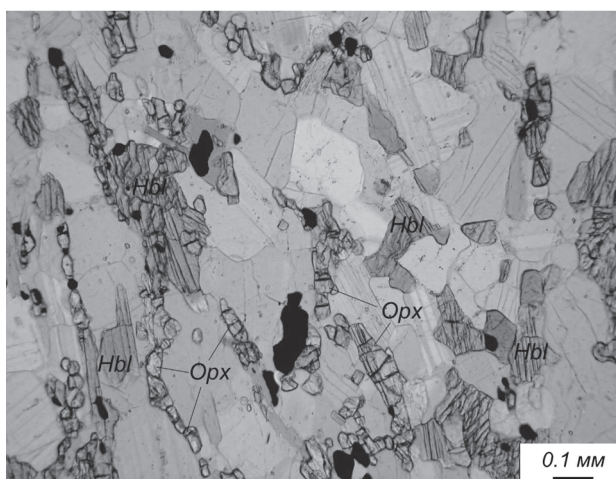
Рис. 3. Зона метасоматического изменения и магматического замещения амфиболовых и пироксен-амфиболовых роговиков и роговикованных осадочных пород вахталкинской толщи в северной части контактового орола Юричского габброидного интрузива (на южных скатах высоты 1644.0 м).

1 – гнейсированные метагаббронориты, 2 – жильные мелкозернистые метагаббронориты, 3 – роговообманковые ортопироксениты, 4 – амфиболовые и пироксен-амфиболовые роговики, 5 – биотит-ортопироксен-плаггиоклазовые метасоматиты с мигматитовыми обособлениями и прожилками биотит-ортопироксен-плаггиоклазового состава, 6 – гранатовые эндербиты и плаггионейсы, 7 – места отбора образцов.

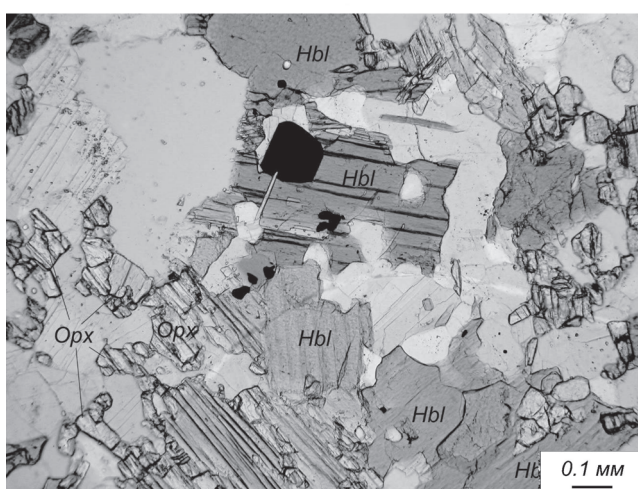
ва. Формирование биотита в биотит-ортопироксен-плаггиоклазовых породах связано с флюидным приносом калия, что подчеркивает метасоматический характер процессов изменения роговиков.

Метасоматиты отличаются темно-серой окраской и состоят из ортопироксена (табл. 2), имеющего довольно выдержанный состав ($X_{Mg}=0.58-0.63$; реже присутствуют более железистые разновидности – $X_{Mg}=0.45-0.56$), плаггиоклаза An_{40-45} и переменных количеств биотита, апатита и рудных минералов.

Дейкратовые биотит-ортопироксен-плаггиоклазовые мигматитовые прожилки, линзы и обособ-



а



б

Рис. 4. Метасоматическое замещение буровато-зеленой роговой обманки ортопироксеном в основном роговике. а – обр. 537-С-1, б – обр. 537-Л-1, без анализатора.

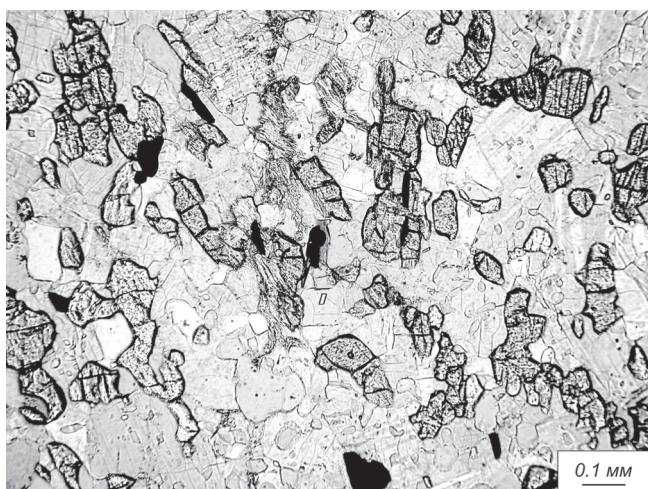


Рис. 5. Мелкозернистый биотит-ортопироксен-плагиоклазовый метасоматит. Обр. 427-И, без анализатора.

ления характеризуются гипидиоморфнозернистыми магматическими структурами и состоят из крупных (до 1–2 и более миллиметров) кристаллов плагиоклаза An_{35-50} в ассоциации с железистым ортопироксеном ($X_{Mg}=0.45-0.67$) и биотитом ($X_{Mg}=0.45-0.70$) (табл. 2, рис. 6). Реже в этих прожилках отмечается пироп-альмандиновый гранат ($X_{Mg}=0.166-0.184$, табл. 2; обр. 427-Л; рис. 7). Биотит-ортопироксен-плагиоклазовые прожилки могут проникать также в роговики, слабо измененные метасоматическими процессами (рис. 8).

Образование в метасоматически преобразованных роговиках биотит-ортопироксен-плагиоклазовых лейкократовых прожилков и обособлений, аналогичных лейкоosome типичных мигматитов (рис. 6), свидетельствует о локальном плавлении (магматическом замещении) пород, предварительно измененных метасоматическими процессами. Магматическое замещение начинается с появления в тонко- или мелкозернистых биотит-ортопироксен-плагиоклазовых метасоматитах отдельных таблитчатых и призматических кристаллов ортопироксена и плагиоклаза размером 0.5–1.5 мм (рис. 9, 10), которые с увеличением их количества образуют линзы, прожилки и обособления мощностью от долей мм до нескольких сантиметров (рис. 6).

Усиление метасоматических процессов и появление мигматитовых прожилков и обособлений в метасоматически измененных роговиках приводит к их дебазификации и четкой дифференциации материала, что выражается в увеличении количества лейкократовых мигматитовых прожилков и обособлений биотит-ортопироксен-плагиоклазового состава и в увеличении в них роли плагиоклаза за счет темноцветных минералов. Так, в обр. 427-И биотит-ортопироксен-плагиоклазовый тонкозернистый метасоматит содержит 28 об. % ортопироксена, до 1 об. % биотита, 69 об. % плагиоклаза и 2 об. % рудных минералов и апатита, а в магматическом прожилковидном обособлении соотношения этих минералов следующие: ортопироксен – 10 об. %, биотит – 5 об. %, плагиоклаз – 83 об. %, рудный и апатит – 2 об. %. С увеличением количества плагиоклаза и снижением его основности в нем формировались антипертиты калинатрового полевого шпата (до 1–5 об. %), приуроченные к центральным зонам кристаллов (рис. 10). Параллельно этому возрастала железистость темноцветных минералов и происходило незначительное увеличение глиноземистости ортопироксена, особенно существенное при появлении в магматических выплавках самостоятельных кристаллов калинатрового полевого шпата (табл. 2, обр. 576, 539-Ж).

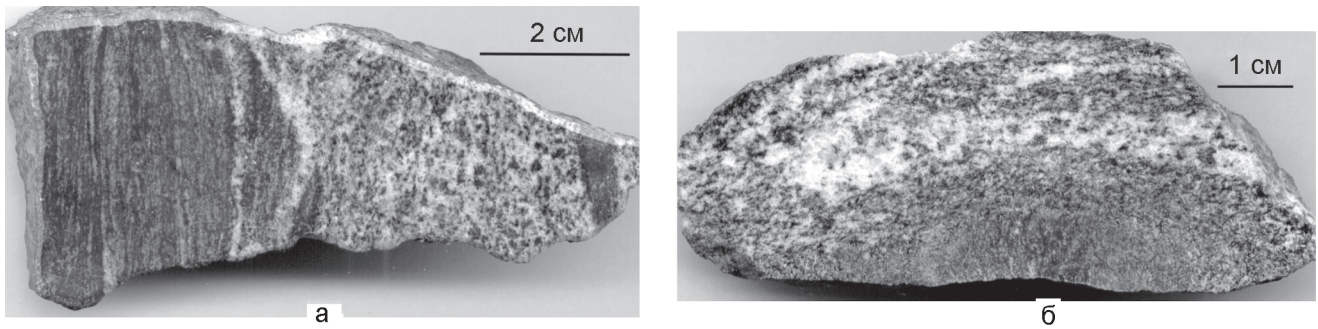


Рис. 6. Лейкокраповые мигматитовые биотит-ортопироксен-плаггиоклазовые прожилки и обособления в тонкозернистых биотит-ортопироксен-плаггиоклазовых метасоматитах. а – обр. 535-К, б – обр. 574.

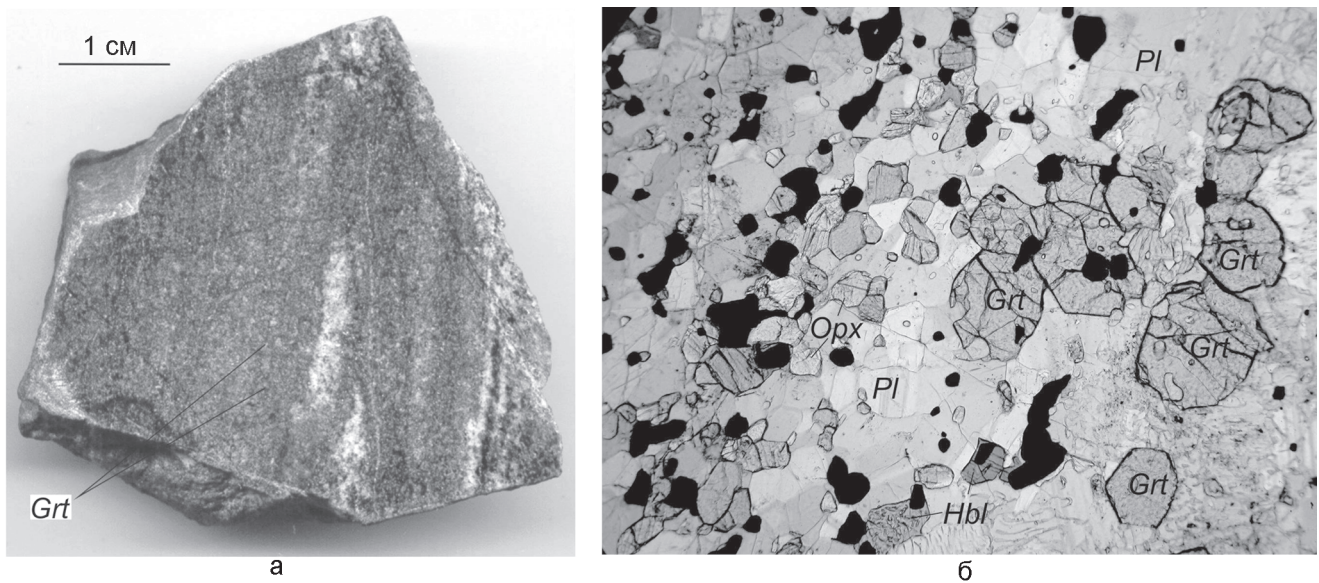


Рис. 7. Прожилковидные выделения граната в ассоциации с ортопироксеном, биотитом и плаггиоклазом в биотит-ортопироксен-плаггиоклазовом метасоматите. а - обр. 427-Л, б - обр. 427-Н, без анализатора.

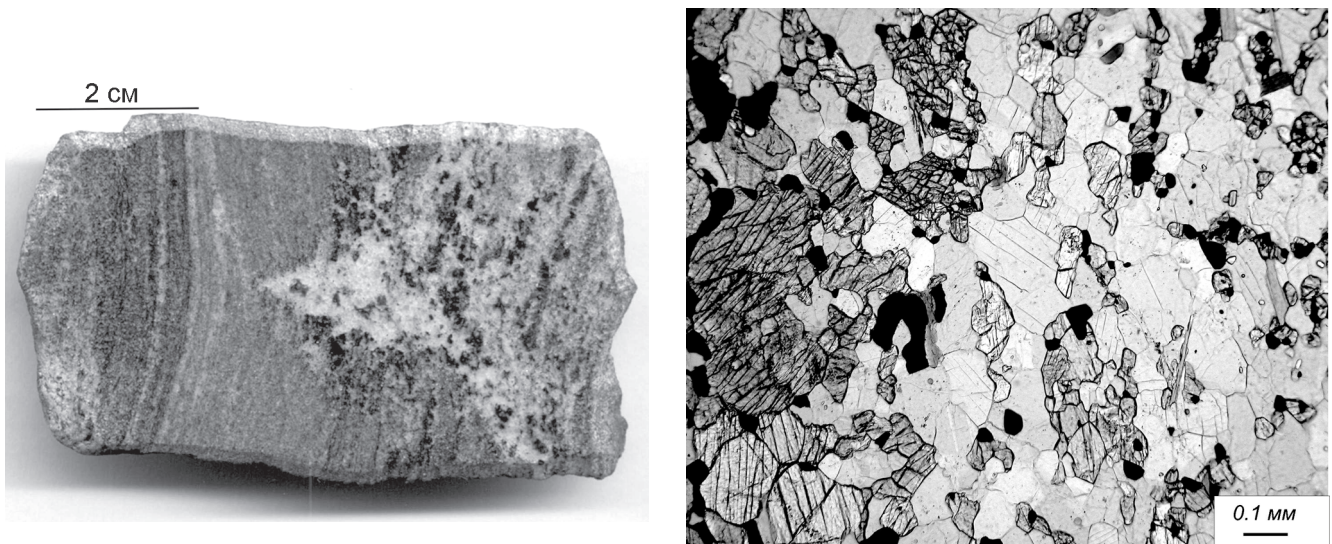


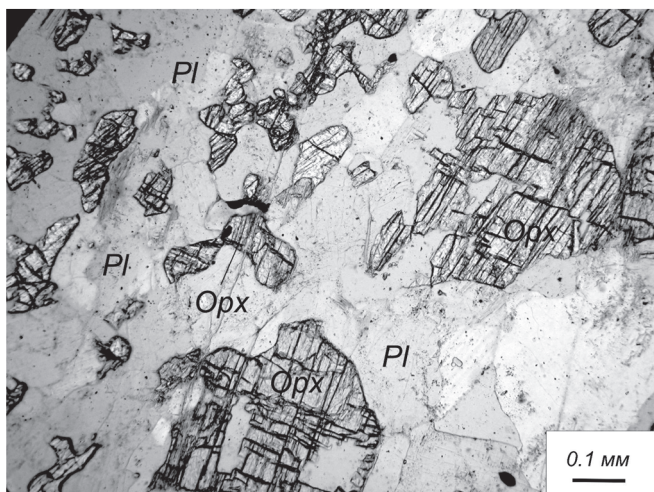
Рис. 8. Пересечение слабо метасоматически измененного амфибол-клинопироксен-плаггиоклазового основного роговика прожилком биотит-ортопироксен-плаггиоклазового состава. Обр. 537-С.

Рис. 9. Цепочковидные выделения ортопироксена в биотит-ортопироксен-плаггиоклазовом мелкозернистом метасоматите. Обр. 538-Ж, без анализатора.

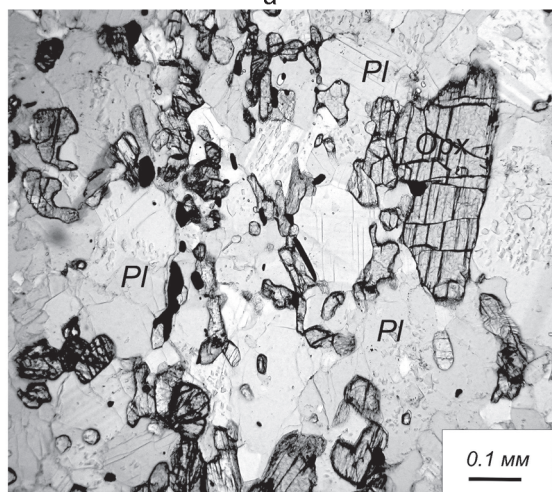
Характерной особенностью новообразованного мигматитового материала, как и биотит-ортопироксен-плаггиоклазовых метасоматитов, является резко повышенное содержание в них апатита, свидетельствующего о высокой концентрации летучих компонентов (воды, фосфора, хлора, фтора) в метаморфизирующих флюидах. Замещение пород магмой накладывалось на биотит-ортопироксен-плаггиоклазовые метасоматиты *“и являлось по отношению к ним более поздним процессом в том (и только в том) смысле, в каком тыловые зоны метасоматической колонки накладываются на передовые вследствие ее разрастания”* [13, с. 51].

Магматическое замещение роговиков по осадочным породам начинается с формирования мигматитовых прожилков, в парагенезисы которых кроме

ортопироксена, биотита и плаггиоклаза входят кварц, гранат, кордиерит и реже калинастровый полевой шпат (рис. 11). Полное магматическое замещение прослоев осадочных пород (рис. 2, 3) обуславливает формирование крупных тел гранатовых эндербитов и гранат-кордиерит-биотитовых плаггиогнейсов (сменяющих гранатовые эндербиты с удалением от контактов Юрчикского интрузива). Гранатовые эндербиты содержат уплощенные и изометричные включения размером 5–30 см роговиков амфибол-плаггиоклазового и реже гранат-ортопироксен-плаггиоклазового составов, образовавшихся при ороговиковании разбужинированных прослоев основных вулканитов. В краевых частях включений амфибол-плаггиоклазовых роговиков наблюдается интенсивное замещение амфибола биотитом и ортопироксеном, а основного



а



б

Рис. 10. Биотит-ортопироксен-плаггиоклазовые метасоматиты с мигматитовыми прожилками и обособлениями Bt-Orx-Pl состава. а – обр. 540-Л, б – обр. 538-Ф, без анализатора.

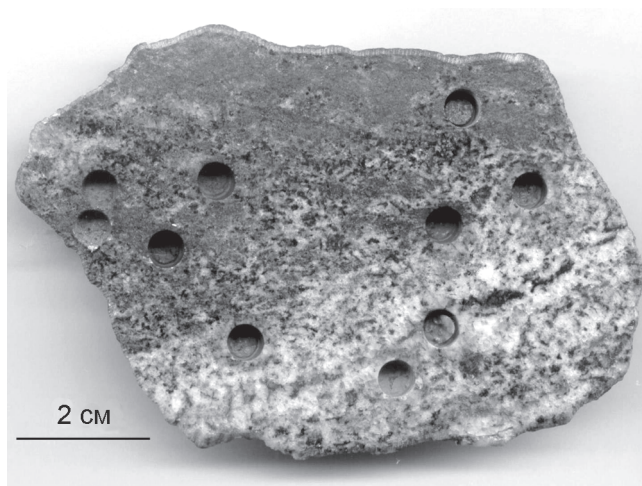


Рис. 11. Мигматитовый прожилок гранатового эндербита в мелкозернистом гранат-кордиерит-биотитовом роговике. Обр. 528-И.

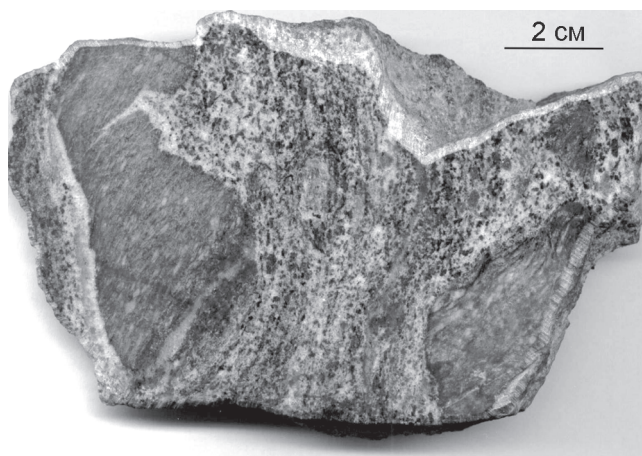


Рис. 12. Включения гранат-ортопироксен-плаггиоклазовых роговиков в гранатовом эндербите. Обр. 535-Е.

плагиоклаза – более натровым плагиоклазом. Некоторые включения окружены лейкократовыми оторочками мощностью от 0.5–1.0 до 5–10 см (рис. 12), состоящими из кордиерита, плагиоклаза и кварца и напоминающими лейкократовые оторочки вокруг меланократовых включений в гранитоидах.

Гранатовые эндробиты – многоминеральные породы, в которых главную роль играют плагиоклаз (40–60 об. %) и кварц – 15–25 об. %. Темноцветные минералы – гранат, ортопироксен, кордиерит и биотит в сумме составляют около 20–30 об. %. Эти минералы (их представительные анализы приведены в табл. 3) образуют устойчивую парагенетическую ассоциацию, типичную для внутренних частей контактового ореола Юрчикского интрузива.

Каликатовый полевой шпат присутствует в метасоматически измененных основных рогах в виде единичных антипертитовых вростков в плагиоклазе, но только в гранатовых эндробитах антипертиты появляются в заметных количествах. Одновременно возникали самостоятельные зерна калиевого полевого шпата, образующего тонкие прожилки и “пленки” между кристаллами плагиоклаза. Количество калиевого полевого шпата в породах редко превышает 10 об. % и только в исключительных случаях (в некоторых гиперстенсодержащих прожилках чарнокитоидного состава) его содержание может достигать 50 об. % [36].

Акцессорные минералы гранатовых эндробитов представлены герцинитом и силлиманитом, приуроченными к кристаллам кордиерита, апатитом, ильменитом, магнетитом, пирротином; реже встречаются пирит, халькопирит и рутил.

ПЕТРОХИМИЯ И ГЕОХИМИЯ ПРОЦЕССОВ МЕТАСОМАТОЗА И МАГМАТИЧЕСКОГО ЗАМЕЩЕНИЯ ОСНОВНЫХ МЕТАВУЛКАНИТОВ

Химический состав амфиболовых, амфибол-плагиоклазовых и пироксен-амфибол-плагиоклазовых рогах, гранатовых эндробитов и плагиогнейсов вахталкинской толщи приведен в табл. 4. Из табл. 4 видно, что исходные базиты вахталкинской толщи отвечают составу базальтов и характеризуются повышенными содержаниями титана, ряда микроэлементов – Sr, Ba, Cr и пониженной концентрацией калия, что сближает рассматриваемые породы с базальтоидами задуговых бассейнов, хотя некоторые исследователи [28, 32] склонны относить их к океаническим толеитам.

Сравнение химического состава основных рогах контактового ореола и продуктов их преобразования (табл. 4, 5, рис. 13) свидетельствует, что процессы метасоматоза и локального плавления отвеча-

ют кремнево-щелочному метасоматозу (гранитизации), при котором в исходные породы происходит последовательный, но неравномерный привнос Si, Al, Na, K, Rb, Ba, Zr, Nb и Cl и вынос железа, магния, марганца, кальция и некоторых рассеянных компонентов – Cr, Co, Ti, Y, S. На петрохимических диаграммах (рис. 13) наглядно видно, что содержание кремния, натрия и калия в метасоматитах значительно выше, чем в исходных основных рогах, при этом концентрация бария возрастает в 5–10 раз, достигая величины 1000–1500 г/т (табл. 5).

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ МЕТАМОРФИЗМА

Минеральные парагенезисы рогах редко сохраняются в высокотемпературном ореоле Юрчикского интрузива, так как подверглись интенсивным метасоматическим преобразованиям и локальному магматическому замещению, а также наложенному региональному метаморфизму амфиболитовой фации. Реликтовые рога парагенезисы магниевого клинопироксена и ортопироксена с основным плагиоклазом свидетельствуют, что температура контактового метаморфизма, вычисленная по Crx-Orx минеральному равновесию [46], достигала 700°–800°C (табл. 2, обр. 427-Д, 537-С).

Температуру метасоматических преобразований основных рогах определить затруднительно из-за отсутствия прецизионных минеральных геотермометров, но несомненно, что эти процессы происходили в том же температурном режиме, что и формирование рогах контактового ореола. Сходный температурный режим характерен и для процесса локального плавления метасоматически измененных рогах и формирования в них биотит-ортопироксен-плагиоклазовых мигматитовых прожилков и обособлений.

Термодинамические условия образования гранатовых эндробитов, определенные на основе взаимосогласованной системы геотермобарометров [1], отвечают температуре 700°–800°C и давлению 3.2–4.8 кбар (табл. 3), что соответствует глубинности около 12–17 км.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Геологические исследования показали, что высокотемпературные гранулитоподобные метаморфические породы в Ганальском хребте имеют локальное развитие, приурочиваясь к внутренним частям контактового ореола Юрчикского габброноритового интрузива. Обычно падение его контактовых поверхностей очень крутое (близкое к вертикальному), что определило небольшую мощность высокотемпературных контактовых рогах (до первых десятков

Таблица 3. Представительные микрозондовые анализы минералов гранатовых эндербитов (обр. 535-Е, 535-З, 535-Б, 539-Б), чарнокитоидов (обр. 575-Б), гранат-кордиерит-биотитовых плагиогнейсов (обр. 528-И) и включений роговиков (обр. 535-В, 535-З-1, 535-Е-1) в гранатовых эндербитах.

Компо- нент	Обр. 535-Е						Обр. 535-З						Обр. 535-Б		
	<i>Grt_r</i>	<i>Opx_r</i>	<i>Crdr</i>	<i>Bt</i>	<i>Pl</i>	<i>Spl_r</i>	<i>Grt_r</i>	<i>Opx_r</i>	<i>Crdr</i>	<i>Bt</i>	<i>Pl</i>	<i>Or</i>	<i>Grt_r</i>	<i>Opx_r</i>	<i>Crdr</i>
SiO ₂	38.34	50.46	49.04	34.92	60.90	0.00	38.07	50.51	48.50	36.65	61.79	63.36	38.16	49.22	48.29
TiO ₂	0.00	0.03	0.00	2.30	0.00	0.34	0.00	0.05	0.00	3.11	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00
Al ₂ O ₃	22.00	4.47	33.47	18.31	25.18	59.40	22.18	4.65	33.45	18.27	24.30	19.07	22.64	5.04	33.64
FeO	29.28	27.86	7.04	17.08	0.09	16.87	30.09	27.70	7.01	16.21	0.12	0.02	29.95	28.22	6.90
MnO	1.06	0.44	0.08	0.10	0.00	0.16	1.44	0.52	0.11	0.06	0.00	0.00	1.18	0.47	0.10
MgO	8.14	17.49	8.75	12.23	0.00	5.64	8.04	16.91	8.40	11.51	0.00	0.00	7.26	16.42	8.49
CaO	1.07	0.14	0.01	0.01	5.89	0.00	0.98	0.14	0.01	0.00	5.96	0.27	1.06	0.10	0.01
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	7.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.32	1.26	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	9.03	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	10.18	0.23	15.46	0.00	0.00	0.00
Сумма	99.89	100.89	99.38	93.98	100.39	101.41 ¹	100.80	100.56 ²	97.48	95.99	100.72	99.44	100.25	99.53	97.43
<i>X_{Mg}</i>	0.323	0.524	0.687	0.559	--	0.371	0.312	0.516	0.678	0.558	-	-	0.294	0.505	0.684
<i>X_{An}</i>	-	-	-	-	0.285	-	-	-	-	-	0.280	-	-	-	-
<i>Wo</i>	-	0.3	-	-	-	-	-	0.3	-	-	-	-	-	0.2	-
<i>En</i>	-	52.6	-	-	-	-	-	51.9	-	-	-	-	-	50.8	-
<i>Fs</i>	-	47.1	-	-	-	-	-	47.8	-	-	-	-	-	49.0	-
<i>Alm</i>	63.3	-	-	-	-	-	63.8	-	-	-	-	-	65.9	-	-
<i>Prp</i>	31.4	-	-	-	-	-	30.4	-	-	-	-	-	28.5	-	-
<i>Sps</i>	2.3	-	-	-	-	-	3.1	-	-	-	-	-	2.6	-	-
<i>Grs</i>	3.0	-	-	-	-	-	2.7	-	-	-	-	-	3.0	-	-
<i>T, °C</i>	754–776 (Grt-Bt)						759–804 (Grt-Bt)						690–697 (Grt-Bt)		
<i>P_s, кбар</i>	4.2–4.4 (Grt-Opx-Pl)						3.7–4.0 (Grt-Opx-Pl)						3.4 (Grt-Opx-Pl), 4.8 (Grt-Opx)		
Компо- нент	Обр. 535-Б		Обр. 539-Б					Обр. 575-Б					Обр. 528-И		
	<i>Bt</i>	<i>Pl_r</i>	<i>Grt_r</i>	<i>Opx_r</i>	<i>Bt</i>	<i>Pl_r</i>	<i>Or</i>	<i>Cpx</i>	<i>Opx_r</i>	<i>Bt</i>	<i>Pl¹</i>	<i>Pl²</i>	<i>Spl</i>	<i>Grt_r</i>	<i>Bt</i>
SiO ₂	35.68	60.00	38.80	49.31	36.39	60.76	64.78	51.96	53.04	37.66	56.42	61.06	0.00	37.96	36.36
TiO ₂	5.16	0.00	0.00	0.11	5.20	0.00	0.00	0.43	0.00	4.07	0.00	0.00	0.58	0.00	3.50
Al ₂ O ₃	17.71	25.08	22.58	5.03	17.29	24.80	18.51	2.95	0.99	15.17	27.60	24.43	63.60	22.15	17.78
FeO	15.71	0.02	29.89	28.13	17.28	0.15	0.00	8.68	21.30	15.12	0.23	0.20	20.88	30.71	15.73
MnO	0.08	0.00	1.14	0.40	0.01	0.00	0.00	0.30	0.63	0.17	0.00	0.00	0.27	1.49	0.07
MgO	12.66	0.00	7.64	16.88	10.60	0.00	0.00	13.10	22.99	12.95	0.00	0.00	11.40	6.52	11.53
CaO	0.02	6.49	1.08	0.11	0.02	6.30	0.02	20.98	0.56	0.06	9.38	6.10	0.00	1.40	0.01
Na ₂ O	0.00	8.02	0.00	0.00	0.00	7.57	0.01	0.19	0.00	0.00	5.84	7.82	0.00	0.00	0.04
K ₂ O	9.53	0.28	0.00	0.00	10.06	0.43	16.85	0.01	0.00	10.67	0.44	0.43	0.00	0.00	9.93
Сумма	96.55	99.89	101.13	99.97	96.85	100.01	100.17	98.60	99.51	95.87	99.91	100.04	102.16 ³	100.23	94.95
<i>X_{Mg}</i>	0.588	-	0.305	0.513	0.522	-	-	0.722	0.651	0.601	-	-	0.490	0.265	0.565
<i>X_{An}</i>	-	0.304	-	-	-	0.307	-	-	-	-	0.458	0.294	-	-	-
<i>Wo</i>	-	-	-	0.2	-	-	-	45.7	1.2	-	-	-	-	-	-
<i>En</i>	-	-	-	51.6	-	-	-	39.6	65.0	-	-	-	-	-	-
<i>Fs</i>	-	-	-	48.2	-	-	-	14.7	33.8	-	-	-	-	-	-
<i>Alm</i>	-	-	64.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67.3	-
<i>Prp</i>	-	-	29.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25.5	-
<i>Sps</i>	-	-	2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.3	-
<i>Grs</i>	-	-	3.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.9	-
<i>T, °C</i>	690–697 (Grt-Bt)		771-796 (Grt-Bt)					744 (Opx-Cpx)					678 (Grt-Bt)		
<i>P_s, кбар</i>	3.2–3.4 (Grt-Opx-Pl), 4.85 (Grt-Opx)		3.6–3.9 (Grt-Opx-Pl)												

Таблица 3. Продолжение.

Компо- нент	Обр. 528-И	Обр. 535-В					Обр. 535-3-1					Обр. 535-Е-1				
	Pl_r	Grt^1	Grt^2	Opx	Bt	Pl_r	Opx^1	Opx^2	Crd	Pl^1	Pl^2	Cpx_r	Pl^1	Opx_r	Bt_r	Pl^2
SiO ₂	59.95	38.09	37.57	50.45	34.63	57.34	53.96	50.58	49.17	56.02	60.17	53.21	46.29	52.84	37.22	49.51
TiO ₂	0.00	0.00	0.05	0.13	3.84	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.04	4.20	0.00
Al ₂ O ₃	25.07	22.50	22.03	4.63	17.83	27.14	2.21	4.79	33.69	28.61	24.94	1.24	34.51	2.10	16.42	32.55
FeO	0.06	30.88	29.01	26.56	18.42	0.42	20.03	28.13	6.87	0.26	0.06	6.48	0.14	21.84	11.46	0.45
MnO	0.00	1.94	1.46	0.46	0.11	0.00	0.42	0.52	0.09	0.00	0.00	0.19	0.00	0.41	0.00	0.00
MgO	0.00	5.37	7.74	17.45	9.46	0.00	23.63	16.74	8.64	0.00	0.00	14.59	0.00	22.18	14.85	0.00
CaO	7.14	1.85	1.50	0.14	0.04	9.13	0.16	0.09	0.00	10.59	5.93	22.36	17.18	0.21	0.06	15.26
Na ₂ O	7.55	0.00	0.00	0.00	0.00	6.48	0.00	0.00	0.00	5.00	8.23	0.02	1.59	0.00	0.24	2.89
K ₂ O	0.09	0.00	0.00	0.00	9.03	0.40	0.00	0.00	0.00	0.28	0.41	0.00	0.03	0.00	9.83	0.05
Сумма	99.86	100.63	99.36	98.82	93.36	100.91	100.49 ⁴	100.93	98.46	100.76	99.74	98.39 ⁵	99.74	99.62	94.75 ⁶	100.71
X_{Mg}	-	0.226	0.311	0.535	0.476	-	0.673	0.510	0.689	-	-	0.796	-	0.640	0.698	-
X_{An}	0.341	-	-	-	-	0.428	-	-	-	0.530	0.278	-	0.855	-	-	0.742
Wo	-	-	-	0.3	-	-	0.3	0.2	-	-	-	46.9	-	0.4	-	-
En	-	-	-	53.8	-	-	67.5	51.4	-	-	-	42.5	-	64.1	-	-
Fs	-	-	-	45.9	-	-	32.2	48.4	-	-	-	10.6	-	35.5	-	-
Alm	-	68.9	62.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prp	-	21.4	29.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sps	-	4.4	3.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grs	-	5.3	4.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$T, ^\circ C$	779 (Grt-Opx)															
$P_s, \text{кбар}$	3.5–3.7 (Grt-Opx-Pl)															

Примечание. В сумму дополнительно включено (мас. %): 1 – ZnO – 14.6, Cr₂O₃ – 3.29, V₂O₃ – 0.22; 2 – Cr₂O₃ – 0.08; 3 – Cr₂O₃ – 0.60, ZnO – 4.83; 4 – Cr₂O₃ – 0.08; 5 – Cr₂O₃ – 0.18; 6 – Cr₂O₃ – 0.47. Расчеты температур и давления выполнены на основе взаимосогласованной системы геотермобарометров [1].

Таблица 4. Химический состав основных роговиков, метаосадочных пород вахталкинской толщи и продуктов их метасоматического преобразования и магматического замещения в контактовом ореоле Юрчикского интрузива.

Компонент	Клинопироксен-амфибол-плаггиоклазовые±ортопироксен роговики									Амфибол-плаггиоклазовые роговики			
	427-В	528-В	531-Б	537-Н	538-Б	538-Г	538-О	539	539-Ж	426-А	426-Б	428-Б	537-Л
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO ₂	51.95	49.65	48.85	49.38	51.58	51.42	53.75	53.05	48.20	47.40	48.41	47.20	45.50
TiO ₂	0.69	0.83	0.79	1.44	1.38	1.54	1.00	0.90	1.37	1.24	1.50	1.36	1.18
Al ₂ O ₃	17.53	14.09	9.45	15.77	17.65	17.69	17.95	16.87	15.96	16.44	16.63	16.70	17.37
Fe ₂ O ₃	2.05	4.92	3.62	2.72	2.20	2.71	4.82	4.74	3.58	3.75	10.28*	3.98	11.21*
FeO	4.78	5.96	8.33	5.68	4.64	4.94	3.84	4.18	4.51	5.86	-	4.54	-
MnO	0.19	0.21	0.22	0.17	0.09	0.19	0.17	0.23	0.16	0.15	0.20	0.12	0.17
MgO	8.50	10.62	12.43	8.37	5.70	4.70	5.04	5.05	4.56	8.77	8.44	10.42	9.53
CaO	11.26	7.09	12.27	12.64	12.56	13.01	8.83	11.30	15.02	10.51	10.75	8.78	11.45
Na ₂ O	1.75	2.63	1.13	2.43	3.24	3.10	3.44	2.86	2.43	3.52	2.99	4.19	2.27
K ₂ O	0.51	1.16	0.74	0.88	0.77	0.37	1.01	0.74	0.97	0.47	0.48	0.83	0.44
P ₂ O ₅	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0.05	0.12	0.24	0.15
П.п.п.	0.80	2.46	2.14	0.58	0.27	0.25	0.38	0.19	3.15	1.28	0.49	1.20	0.65
Сумма	100.01	99.62	99.97	100.06	100.08	99.92	100.23	100.11	99.91	99.44	100.29	99.56	99.92

Таблица 4. Продолжение.

Компонент	Амфибол-плаггиоклазовые роговики		Биотит-ортопироксен-плаггиоклазовые метасоматиты										
	591-Б	532	427-Д	427-И	427-Л	427-Н	537-О	537-Р	537-Х	538-К	538-М	538-С	539-Т
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
SiO ₂	53.25	53.45	54.18	56.55	51.17	50.71	53.29	53.20	55.47	54.45	56.10	53.56	53.03
TiO ₂	0.70	0.79	0.73	0.87	0.85	0.78	0.85	0.76	0.73	0.70	0.86	0.77	0.91
Al ₂ O ₃	18.63	16.64	19.76	18.99	21.99	21.64	21.94	21.37	18.32	21.99	20.92	21.60	21.56
Fe ₂ O ₃	3.15	5.87	6.27	1.31	9.11*	8.14*	4.96	3.89	5.02	3.80	3.01	5.07	4.09
FeO	3.60	4.32	1.67	6.37			2.44	2.71	2.14	2.84	3.11	2.84	3.51
MnO	0.16	0.17	0.16	0.18	0.14	0.30	0.15	0.09	0.15	0.11	0.15	0.14	0.13
MgO	5.88	5.76	3.50	3.69	3.52	3.92	2.86	2.76	3.33	3.10	3.03	2.95	1.95
CaO	7.74	7.01	8.78	7.41	7.68	8.82	8.52	10.04	8.35	8.18	7.39	8.69	8.71
Na ₂ O	4.64	4.54	3.91	3.22	3.70	4.39	3.96	3.84	3.91	3.96	4.45	3.80	4.25
K ₂ O	0.53	0.21	0.84	0.42	1.23	0.56	0.82	1.23	1.28	0.87	0.51	0.62	1.37
P ₂ O ₅	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0.21	0.49	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
П.п.п.	1.50	1.30	0.17	0.50	0.55	0.24	0.13	0.13	1.20	0.03	0.31	0.02	0.42
Сумма	99.78	100.06	99.97	99.51	100.15	99.99	99.92	100.02	99.90	100.03	99.84	100.06	99.93

Компонент	Биотит-ортопироксен-плаггиоклазовые метасоматиты				Гранатовые эндербиты и гранат-кордиерит-биотитовые плаггиогнейсы							
	574-Б	574-Б-1	574-Л	535-К	539-Б	539-А	536-В	420-Е	420-З	428	428-Ж	434-А
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
SiO ₂	54.80	59.89	52.90	59.01	66.28	61.83	68.38	63.02	62.62	62.30	59.82	56.14
TiO ₂	0.73	0.86	0.85	0.76	0.78	0.86	0.81	0.93	0.69	1.04	1.09	0.99
Al ₂ O ₃	17.70	15.22	19.66	18.17	15.44	18.26	13.70	16.96	15.38	15.90	18.35	17.50
Fe ₂ O ₃	9.21*	8.34*	1.44	6.87*	6.84*	5.45*	6.50*	2.34	2.08	2.75	0.47	1.70
FeO			6.47					5.10	4.85	4.54	6.24	5.86
MnO	0.19	0.14	0.35	0.11	0.10	0.07	0.08	0.08	0.17	0.12	0.08	0.08
MgO	3.52	3.16	5.29	3.46	2.72	5.48	2.54	2.89	3.29	2.99	2.99	4.54
CaO	6.10	4.22	6.86	5.60	2.39	2.67	2.07	2.02	2.99	2.88	3.46	3.31
Na ₂ O	3.78	3.10	2.92	4.12	3.06	2.53	2.69	2.97	3.81	2.97	3.65	4.19
K ₂ O	0.76	1.47	0.95	1.69	1.15	1.33	1.22	1.34	2.18	1.07	1.24	1.07
P ₂ O ₅	0.19	0.25	Н.о.	0.15	0.08	0.18	0.08	0.11	Н.о.	0.16	0.31	0.16
П.п.п.	1.31	0.99	1.71	0.68	1.82	1.54	1.89	2.04	1.29	2.76	2.41	3.82
Сумма	98.29	97.64	99.40	100.62	100.66	100.20	96.96	99.80	99.35	99.48	100.11	99.36

Таблица 4. Окончание.

Компонент	Гранатовые эндревиты и плагиогнейсы		Чарнокитоиды				Метадациты					Роговики ксенолитов из гранатовых эндревитов			
	535-Л	537-У	373-А	575	575-Б	591	591-А	433-А	434	535-В	535-Л	557-Л	49	48	47
	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	49	48	47
SiO ₂	56.17	63.32	64.34	61.95	65.88	66.55	67.35	64.84	70.17	65.20	56.91	51.15	56.91	65.20	70.17
TiO ₂	1.05	1.10	0.91	1.09	0.90	0.43	0.37	0.24	0.39	0.64	0.53	0.66	0.64	0.64	0.39
Al ₂ O ₃	18.59	16.82	15.99	16.84	15.91	16.18	16.64	18.03	13.91	15.85	12.27	11.86	15.85	15.85	13.91
Fe ₂ O ₃	3.62	2.52	2.85	2.93	5.58*	3.39	1.53	2.42	1.71	0.55	11.28*	1.23	0.55	0.55	1.71
FeO	8.02	4.51	2.25	3.50		2.67	2.26	1.51	2.88	6.37		9.02	6.37	6.37	2.88
MnO	0.17	0.13	0.05	0.20	0.08	0.13	0.10	0.20	0.13	0.19	0.22	0.18	0.19	0.19	0.13
MgO	4.53	3.53	2.43	2.66	1.58	1.11	0.49	1.34	2.09	5.06	11.46	16.73	5.06	5.06	2.09
CaO	3.05	2.74	1.01	5.30	3.46	5.22	5.06	2.88	1.29	1.60	7.01	7.22	1.60	1.60	1.29
Na ₂ O	3.24	3.24	5.04	2.92	3.88	3.56	4.21	5.48	4.58	2.92	0.72	2.81	2.92	2.92	4.58
K ₂ O	0.78	0.86	4.26	1.49	2.31	0.64	0.85	1.21	1.95	0.62	0.36	0.40	0.62	0.62	1.95
P ₂ O ₅	Н.о.	Н.о.	0.13	Н.о.	0.18	Н.о.	Н.о.	0.26	0.12	Н.о.	0.04	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0.12
П.п.п.	0.86	1.30	0.42	0.60	0.30	0.56	0.76	1.21	0.26	0.40	0.00	0.69	0.40	0.40	0.26
Сумма	100.08	100.07	99.68	99.48	100.06	100.44	99.62	99.62	99.48	99.40	100.80	101.95	99.40	99.40	99.48

Примечание. * – Все железо в форме Fe₂O₃. Обр. 574-Б-1 – биотит-ортопироксен-плагиоклазовый мигматитовый прожилок в биотит-ортопироксен-плагиоклазовом метасоматите. Н.о. – не определялось.

метров). И только в северной части массива, где геофизическими методами фиксируется наибольшая мощность интрузивного тела, магмаподводящие каналы и отмечаются апофизы габброноритов среди маломощной «покрышки» вмещающих пород вахталкинской толщи (рис. 1), наблюдается обширная область высокотемпературного метаморфического преобразования (ороговикования, метасоматоза и магматического замещения) исходных терригенно-вулканогенных пород.

Изучение минеральных парагенезисов измененных пород вахталкинской толщи в пределах контактового ореола свидетельствует, что в их преобразовании условно выделяется несколько этапов. Все эти этапы происходят одновременно, тесно связаны между собой в пространстве и во времени и определялись интенсивностью воздействия на исходные породы мантийных флюидов, фильтровавшихся, предположительно, по магматическим каналам, по которым осуществлялся подъем габброидного расплава.

Первый этап – этап контактового метаморфизма, связанного с внедрением габброидного интрузива, обусловил преобразование исходных основных вулканитов в амфиболовые, клинопироксен-амфиболовые и двупироксен-амфиболовые роговики, а осадочных прослоев – в гранат-биотитовые и гранат-кордиерит-биотитовые роговики. Температура контактового метаморфизма достигала 700°–800°С.

Второй этап – этап метасоматического изменения роговиков ореола, привел к формированию в них тел биотит-ортопироксен-плагиоклазовых метасоматитов. Метасоматически измененные породы редко образуют крупные выходы, чаще это неправильной формы участки ограниченных размеров в исходных основных метавулканитах вахталкинской толщи, иногда величиной всего несколько десятков сантиметров. Наиболее крупные выходы метасоматитов приурочены к разбуженным прослоям метасоматических пород (рис. 3).

Наконец, в третий этап метасоматически измененные основные роговики испытали частичное плавление, и в результате их магматического замещения образовались мигматитовые прожилки и обособления биотит-ортопироксен-плагиоклазового±гранат состава. В этап магматического замещения слои ороговикованных осадочных пород были преобразованы в тела гранатовых эндревитов и плагиогнейсов. Использование современных взаимосогласованных минеральных геотермометров [1] показало, что эти гранулитоподобные породы образовались при температуре 700°–800°С в условиях средней глубинности (12–17 км), отвечающей литостатическому давлению 3.2–4.8 кбар (табл. 3).

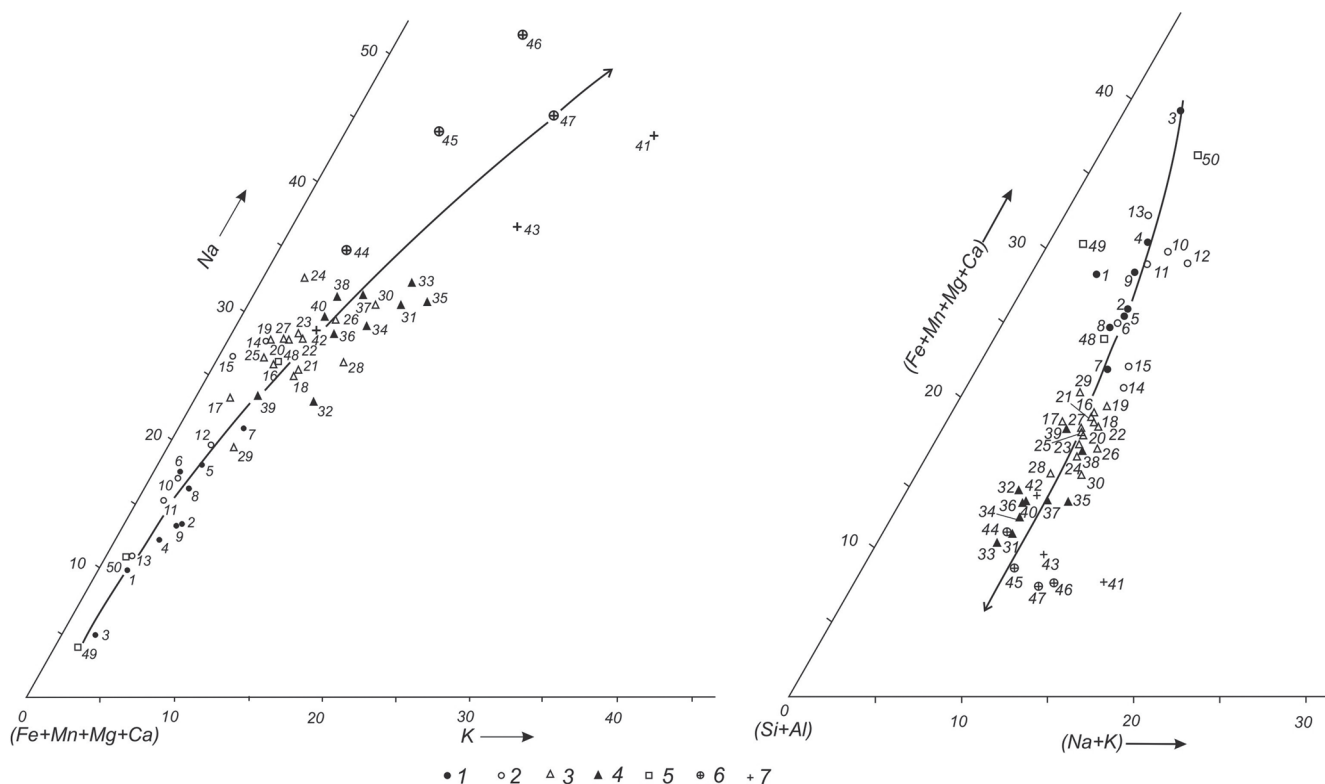


Рис. 13. Петрохимические диаграммы, характеризующие метасоматическое преобразование и магматическое замещение ороговикованных основных вулканитов и осадочных пород вахталкинской толщи в контактовом ореоле Юрчикского габброноритового интрузива

1–2 – ороговикованные метавулканиты: пироксен-амфибол-плагиоклазового (1) и амфибол-плагиоклазового (2) состава, 3 – биотит-ортопироксен-плагиоклазовые метасоматиты, 4 – гранатовые эндербиты и плагиогнейсы, 5 – ксенолиты основных роговиков в гранатовых эндербитах, 6 – чарнокитоиды, 7 – метаморфизованные кремнекислые вулканиты (метадациты). Номера точек на диаграммах соответствуют номерам табл. 4. Стрелки – направление изменения состава ороговикованных метабазитовых вулканитов вахталкинской толщи при процессах гранитизации и магматического замещения.

Сравнение химического состава исходных основных вулканитов вахталкинской толщи контактового ореола и продуктов их преобразования (табл. 4, 5, рис. 13) свидетельствует, что процессы метасоматоза и магматического замещения отвечают кремнево-щелочному метасоматозу (гранитизации), при котором в исходные породы происходит последовательный, но неравномерный привнос Si, Al, Na, K, Rb, Ba, Zr, Nb и Cl и вынос железа, магния, марганца, кальция и некоторых рассеянных компонентов – Cr, Co, Ti, Y, S, обуславливая интенсивную дебазификацию исходных образований.

Гранитизация и магматическое замещение с образованием гранитоидов чрезвычайно распространенные явления в природе и представляют собой резко выраженный процесс дебазификации корового субстрата с выносом из гранитизируемых отложений значительных количеств Ca, Mg, Fe, нередко Al и

привносом Si и щелочей [10, 14, 21, 22, 25, 26, 29, 48]. Характеристике процессов гранитизации посвящены многочисленные работы, а физико-химическая сущность детально раскрыта Д.С. Коржинским [21–24] и подтверждена экспериментальными исследованиями [10–17, 29, 42].

Теоретические представления определяют гранитизацию как магматическое замещение исходных пород под воздействием восходящих трансмагматических флюидов подкорового происхождения, образующихся в процессе дегазации мантии Земли [21, 22]. Магматическое замещение предполагает, что гранитообразованию и окончательному плавлению метаморфических пород предшествует их метасоматическая переработка щелочно-кремнекислыми флюидами с дебазификацией и «осветлением», идущих параллельно с нарастающим частичным плавлением (формированием полосчатых и тневых мигматитов).

Таблица 5. Геохимическая характеристика основных роговиков, метаосадочных пород вахталкинской толщи и продуктов их метасоматического преобразования и магматического замещения.

Элемент	Амфибол-плагиоклазовые роговики			Биотит-ортопироксен-плагиоклазовые метасоматиты					Гранатовые эндербиты и плагиогнейсы			Чарнокитоиды	Роговики ксенолитов из гранатовых эндербитов	
	425-В	426-Б	537-Л1	427-Л1	427-Н	535-К	574-Б	574-Б-1	539-Б	539-А	536-В		575-Б	535-Л1
Rb	23	3	3	37	4	26	16	42	18	22	32	27	22	22
Sr	567	193	706	760	1862	477	613	429	317	640	265	297	108	143
Ba	428	55	167	1589	552	560	522	1076	664	1175	535	1524	240	359
Y	19	26	39	20	21	21	20	18	24	15	13	30	13	13
Zr	80	75	57	130	145	110	96	203	209	335	241	402	36	38
Nb	6	3	4	6	4	6	5	7	7	6	9	8	3	2
Pb	4	2	2	11	7	12	9	9	11	10	11	10	4	4
Th				3		5	4	3	3	5	4	2	1	1
V	255	242	351	247	228	226	236	216	157	141	152	105	240	223
Cr	81	226	259	46	32	71	47	101	104	19	108	18	817	828
Co	24	36	31	22	22	18	20	21	13	6	12	7	46	57
Ni	28	134	39	24	45	27	19	32	26	5	27	7	199	273
Cu	122	38	367	85	10	30	39	122	32	14	47	19	11	7
Zn	79	73	104	69	98	42	93	82	122	76	65	72	113	88
Ga	19	16	21	22	25	20	19	17	16	18	14	16	15	12
S	0.240	0.011	0.075	0.192	0.003	0.003	0.081	0.292	0.274	0.007	0.279	0.005	0.049	0.003
Cl	0.008	0.003	0.010	0.018	0.024	0.026	0.015	0.013	0.003	0.004	0.005	0.009	0.004	0.005

Примечание. Концентрации S и Cl – в мас. %, остальных элементов – в г/т. Анализы выполнены рентгенофлуоресцентным методом на автоматическом спектрометре S₄ Pioneer в аналитическом центре Дальневосточного геологического института ДВО РАН.

Пути миграции гранитизирующих флюидов предполагаются зоны глубинных разломов, дренирующих мантию, зоны бластомилонитов или сильно разгнейсованных пород [27] и зоны плавления в мантии [14], так как расплавы аккумулируют летучие, экстрагирующие щелочно-кремнекислые компоненты.

Анализ современного состояния проблемы гранитообразования [14] свидетельствует, что основная масса гранитоидных расплавов возникает в результате: 1) процесса гранитизации, т.е. неизохимического плавления с предварительной метасоматической переработкой и последующим замещением расплавом пород земной коры, 2) теплового и химического взаимодействия мантийных магм с веществом земной коры, ведущего к возникновению гибридных гранитоидных расплавов [14, 43]. Граниты получают в глубинных условиях особенно экстенсивное развитие, и все более затушевываются их связи с внедрением мантийных расплавов, обуславливающих их образование [30].

Гранитизация как процесс магматического замещения осуществляется под влиянием глубинных флюидов, имеющих мантийную природу [4, 9, 10, 14–16, 21, 22, 29, 42, 47, 48]. Экспериментальные исследования растворимости мантийного вещества при высоких температурах и давлениях свидетельствуют,

что мантийные флюиды представляют собой высококонцентрированные водные растворы (до 100 и более г/л [10, 15, 16]), которые инконгруэнтно растворяют в мантийных породах преимущественно кремнезема и щелочи, а также некоторые литофильные элементы, такие как Li, Rb, TR [10, 16, 47, 48].

Понижение температуры и давления ведет к снижению растворимости кремнезема и щелочей в мантийных флюидах и, как следствие, к метасоматическим изменениям и неизохимическому парциальному плавлению алюмосиликатных пород коры, вызывая их гранитизацию [16]. Необходимым условием проявления этих процессов, по мнению [15], являются: 1) высокий тепловой прогрев зоны флюидного воздействия (температура в зоне “разгрузки” флюида должна быть не ниже температуры гранитного солидуса) и 2) достаточная мощность корового субстрата (около 15–20 км), обеспечивающая высокую растворимость флюидами мантийного вещества.

Приведенный фактический материал показывает, что высокий тепловой прогрев корового субстрата и его значительная мощность характерны для Ганальского хребта Камчатки, что и определило развитие здесь интенсивных процессов контактового метаморфизма, метасоматоза, гранитизации и магматического замещения исходных основных вулканитов и

переслаивающихся с ними терригенных пород в контактовом ореоле Юрчикского габброноритового интрузива под влиянием мантийных флюидов, фильтровавшихся, предположительно, по магматическим каналам, по которым осуществлялся подъем габброидной магмы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геологические, минералогические и геотермометрические данные свидетельствуют о том, что метаморфические изменения исходных терригенно-вулканогенных пород вахталкинской толщи ганальской серии Ганальского хребта Камчатки с образованием высокотемпературных гранулитоподобных пород обусловлены контактово-реакционным воздействием крупного Юрчикского габброноритового интрузива.

Контактовое воздействие габброидов интрузива, температура которого достигала во внутренних частях ореола 700°–800°C, обусловило преобразование основных вулканитов вахталкинской толщи в двупироксен-плаггиоклазовые, клинопироксен-амфибол-плаггиоклазовые и амфибол-плаггиоклазовые роговики, а прослоев терригенных пород – в гранат-биотитовые и гранат-кордиерит-биотитовые роговики. В локальных участках основные роговики подверглись метасоматическим изменениям с формированием тел тонко- и мелкозернистых биотит-ортопироксен-плаггиоклазовых метасоматитов. В зонах наиболее интенсивного воздействия мантийных флюидов метасоматиты испытали частичное расплавление и магматическое замещение с образованием биотит-ортопироксен-плаггиоклазовых±гранат магматических прожилков и обособлений, а за счет метатерригенных прослоев сформировались тела гранатовых эндербитов и плаггиогнейсов, термодинамические условия образования которых отвечают температуре 700°–800°C и давлению 3.2–4.8 кбар, что соответствует глубинности около 12–17 км. Метасоматическое преобразование и магматическое замещение обусловили интенсивную дегазацию исходных пород, выражающуюся в увеличении содержания в них плаггиоклаза, снижении его основности и повышении железистости темноцветных минералов.

Сравнение химического состава основных вулканитов вахталкинской толщи и продуктов их преобразования показывает, что по химизму метасоматическое изменение и магматическое замещение исходных образований отвечает кремниевому-щелочному метасоматозу (гранитизации) и обуславливает последовательный и неравномерный привнос в замещаемые породы Si, Al, Na, K, Rb, Ba, Zr, Nb и Cl и вынос же-

леза, магния, марганца, кальция и некоторых рассеянных компонентов – Cr, Co, Ti, Y и S.

Предполагается, что метаморфические процессы с изменением исходных пород, их минеральных парагенезисов и состава минералов вахталкинской толщи ганальской серии в контактовом ореоле Юрчикского интрузива происходили под воздействием высокоминерализованных мантийных флюидов, фильтровавшихся по магматическим каналам, по которым осуществлялся подъем габброидного расплава.

Авторы выражают искреннюю признательность официальным рецензентам к.г.-м.н. Б.А. Марковскому, д.г.-м.н. Е.Н. Граменицкому, а также члену-корреспонденту РАН С.П. Кориковскому за ценные конструктивные замечания и рекомендации, учтенные при окончательной редакции рукописи статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авченко О.В. Минеральные равновесия в метаморфических породах и проблемы геобаротермометрии. М.: Наука, 1990. 182 с.
2. Апрельков С.Е., Иванов Б.В., Попруженко С.В. Тектоника и геодинамическая эволюция юго-восточной Камчатки (Петропавловский геодинамический полигон) // Тихоокеан. геология. 1999. Т. 18, № 4. С. 16–28.
3. Виноградов В.И., Буякайте М.И., Горощенко Г.А. и др. Изотопные и геохронологические особенности глубококоматоморфизованных пород Ганальского выступа Камчатки // Докл. АН СССР. 1991. Т. 318, № 4. С. 930–936.
4. Гаврикова С.Н., Жариков В.А. Геохимические особенности гранитизации архейских гранулитовых пород в Восточном Забайкалье // Геохимия. 1984. № 1. С. 26–49.
5. Геология СССР. Т. 31. Камчатка, Курильские и Командорские острова. Геологическое описание. М.: Недра, 1964. 734 с.
6. Герман Л.Л. Структурное положение гранулитов Ганальского хребта Камчатки // Сов. геология. 1975. № 7. С. 118–126.
7. Герман Л.Л., Шульдинер В.И., Щека С.А. Метаморфические комплексы Ганальского хребта на Камчатке // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1976. № 2. С. 25–35.
8. Герман Л.Л. Древнейшие кристаллические породы Камчатки. М.: Недра, 1978. 128 с.
9. Горбачев Н.С., Каширцева Г.А. Флюидно-расплавное взаимодействие и эволюция океанических базальтов // Очерки физико-химической петрологии / Под ред. В.А. Жарикова и В.В. Федькина. М.: Наука, 1985. Вып. 13. С. 106–111.
10. Горбачев Н.С., Каширцева Г.А. Равновесия расплав-флюид: экспериментальная модель магматического флюида // Роль минералогии в познании процессов рудообразования: Материалы Годич. сес. МО РМО, посвящ. 110-летию со дня рождения академика А.Г. Бетехтина. Москва, 28-29 мая 2007 г. М.: ИГЕМ РАН, 2007. С. 116–118.
11. Граменицкий Е.Н. Механизм магматического замещения (на примере контактовой зоны Сыростанского массива на

- Южном Урале) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1990. № 3. С. 62–77.
12. Граменицкий Е.Н., Лукин П.В. Подходы к экспериментальному моделированию магматического замещения // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1996. № 4. С. 16–26.
 13. Граменицкий Е.Н., Батанова А.М., Щекина Т.И. Механизмы процессов ассимиляции и магматического замещения // Изв. секции наук о Земле РАЕН. 2002. № 8. С. 50–63.
 14. Жариков В.А. Проблемы гранитообразования // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1987. № 6. С. 3–14.
 15. Жариков В.А., Эпельбаум М.Б., Боголепов М.В. Экспериментальное исследование возможности гранитизации под действием глубинного флюида // Докл. АН СССР. 1990. Т. 311, № 2. С. 462–465.
 16. Жариков В.А., Эпельбаум М.Б., Боголепов М.В., Симакин А.Г. Процессы гранитизации (экспериментальное изучение, компьютерная модель) // Экспериментальные проблемы геологии / Под ред. В.А. Жарикова, В.В. Федькина. М.: Наука, 1994. С. 83–104.
 17. Жариков В.А. Некоторые аспекты проблемы гранитообразования // Вестн. Моск. ун-та. 1996. Сер. 4. Геология. № 4. С. 3–12.
 18. Зинкевич В.П., Константиновская Е.А., Цуканов Н.В. и др. Аккреционная тектоника Восточной Камчатки. М.: Наука, 1993. 272 с.
 19. Зинкевич В.П., Рихтер А.В., Фузган М.М. ⁴⁰Ar/³⁹Ar-датирование метаморфических пород Восточной Камчатки // Докл. АН. 1993. Т. 333, № 4. С. 477–480.
 20. Карта полезных ископаемых Камчатской области. 1:500 000 / Под ред. А.Ф. Литвинова, М.Г. Патоки, Б.А. Марковско-го и др. СПб: ВСЕГЕИ, 1999.
 21. Коржинский Д.С. Гранитизация как магматическое замещение // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1952. № 2. С. 56–69.
 22. Коржинский Д.С. Очерк метасоматических процессов // Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях / Под ред. А.Г. Бетехтина. М.: Изд-во АН СССР, 1955. С. 335–453.
 23. Коржинский Д.С. Потоки трансмагматических растворов и процессы гранитизации // Магматизм, формации кристаллических пород и глубины Земли / Под ред. Г.Д. Афанасьева. М.: Наука, 1972. Ч. 1. С. 144–153.
 24. Коржинский Д.С. Взаимодействие магм с трансмагматическими флюидами // Зап. ВМО. 1977. Вып. 2. С. 173–178.
 25. Кузьмин В.К., Глебовицкий В.А., Беяцкий Б.В. и др. Кайнозойские гранулиты Ганальского выступа (Восточная Камчатка) // Докл АН. 2003. Т. 393, № 3. С. 371–375.
 26. Летников Ф.А. Гранитоиды глыбовых областей. Новосибирск: Наука, 1975. 214 с.
 27. Летников Ф.А., Балышев С.О., Лашкевич В.В. Взаимосвязь процессов гранитизации, метаморфизма и тектоники // Геотектоника. 2000. № 1. С. 3–22.
 28. Лучицкая М.В., Рихтер А.В. Геотектоническая расслоенность метаморфических образований Ганальского хребта (Камчатка) // Геотектоника. 1989. № 2. С. 76–85.
 29. Маракушев А.А. Магматическое замещение и его петрогенетическая роль // Очерки физико-химической петрологии / Под ред. В.А. Жарикова. М.: Наука, 1987. Вып. 14. С. 24–38.
 30. Маракушев А.А. Петрогенезис. М.: Недра, 1988. 293 с.
 31. Рихтер А.В. О строении метаморфических комплексов Ганальского хребта (Камчатка) // Геотектоника. 1991. № 1. С. 98–108.
 32. Розен О.М., Марков М.С. О происхождении амфиболитов метаморфического меланократового фундамента островных дуг (на примере Ганальского хребта Камчатки) // Геотектоника. 1973. № 3. С. 27–39.
 33. Тарарин И.А. Происхождение гранулитов Ганальского хребта Камчатки // Докл. АН СССР. 1977. Т. 234, № 3. С. 677–680.
 34. Тарарин И.А. Эволюция метаморфических процессов в Ганальском хребте Камчатки // Корреляция эндогенных процессов Тихоокеанского пояса / Под ред. С.С. Зимина. Владивосток: ДВО РАН, 1979. С. 63–101.
 35. Тарарин И.А. Магматическое замещение на контакте габброидов и плагиогнейсов в Ганальском хребте Камчатки // Докл. АН СССР. 1979. Т. 247, № 1. С. 179–184.
 36. Тарарин И.А. Образование чарнокитоподобных пород в метаморфическом комплексе Ганальского хребта Камчатки // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1982. № 6. С. 45–57.
 37. Тарарин И.А., Чубаров В.М., Филофова Т.М. Базификация плагиогнейсов на контакте с габброидами Юрчикского массива в Ганальском хребте Камчатки // Тихоокеан. геология. 2002. Т. 21, № 1. С. 29–47.
 38. Ханчук А.И. О геологическом положении пород гранулитовой фации и габброноритов Ганальского хребта (Восточная Камчатка) // Геология и геофизика. 1978. № 8. С. 45–51.
 39. Цуканов Н.В. Тектоническое развитие приокеанической зоны Камчатки в позднем мезозое – раннем кайнозое. М.: Наука, 1991. 104 с.
 40. Шульдинер В.И., Высоцкий С.В., Ханчук А.И. Кристаллический фундамент Камчатки: строение и эволюция // Геотектоника. 1979. № 2. С. 80–93.
 41. Щека С.А. Окологабброидные роговики и гранулитовые породы Камчатки // Петрология и геохимия магматических и метаморфических пород Дальнего Востока / Под ред. С.А. Коренбаума и др. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975. С. 167–196.
 42. Эпельбаум М.Б., Боголепов М.В. Плавление во флюидно-силикатной системе и моделирование процесса гранитизации // Очерки физико-химической петрологии (магматизм, метаморфизм, мантия) / Под ред. В.А. Жарикова, В.В. Федькина. М.: Наука, 1991. Вып. 16. С. 6–15.
 43. Huppert H.E., Sparks R.S. The generation of granitic magmas by intrusion of basalt into continental crust // J. Petrol. 1988. V. 29, N 3. P. 599–624.
 44. Leake B.E. Nomenclature of amphiboles // Canad. Mineral. 1978. V. 16, N 4. P. 501–520.
 45. Lebedev M.M., Tararin I.A., Lagovskaya E.A. Metamorphic zones of Kamchatka as an example of the metamorphic assemblages of the inner part of the Pacific belt // Tectonophysics. 1967. V. 4, N 4-6. P. 445-461.
 46. Lindsley D.H. Pyroxene thermometry // Amer. Mineral. 1983. V. 68, N 5/6. P. 477–493.
 47. Ryabchikov I.D., Boettcher A.L. Experimental evidence at high pressure for the potassic metasomatism in the mantle of

- the Earth // Amer. Mineral. 1980. V. 65, N 9/10. P. 915–919.
48. Schneider M., Eggler D. Fluids in equilibrium with peridotite minerals: Implication for mantle metasomatism // Geochim. Cosmochim. Acta. 1986. V. 50, N 5. P. 711–724.
49. Sisson T.W., Ratajeski K., Hawkins W.B., Glazner A.F. Voluminous granitic magmas from common basaltic sources // Contrib. Mineral. Petrol. 2005. V. 148, N 6. P. 635–661.

Рекомендована к печати О.В. Авченко

I.A. Tararin, V.M. Chubarov

Granitization and magmatic replacement in the contact aureole of the Yurchiksky gabbro-norite massif, Ganal Ridge of Kamchatka

It is shown that the high-temperature granulite-like rocks of the Ganal Ridge resulted from contact metamorphism of the Yurchiksky gabbro-norite intrusive during its emplacement into the sedimentary-volcanic rocks of the Vakhtalkinskaya rock sequence of the Ganal Group. A temperature of 700–800° C is estimated in the inner parts of the contact aureole, and basic volcanics of the sequence were transformed into double-pyroxene-plagioclase, clinopyroxene-amphibole-plagioclase and amphibole-plagioclase hornfels; and sedimentary rocks, into garnet-biotite and garnet-cordierite-biotite hornfels. Locally, hornfelsized basic volcanics were subjected to metasomatic alteration with subsequent formation of bodies of biotite-orthopyroxene-plagioclase metasomatites. In the zones of most intense fluid filtration, metasomatites experienced local magmatic replacement resulting in the formation of biotite-orthopyroxene-plagioclase±garnet streaks and segregations. Bodies of garnet enderbites were forming at the expense of sedimentary interbeds. The thermodynamic conditions of formation of the former were 700–800°C and 3.2–4.8 kbar of lithostatic pressure. The comparison of the chemical composition of the Vakhtalkinskaya basic volcanics and products of their transformation suggest that chemically, metasomatic alterations and magmatic replacement correspond to siliceous-alkaline metasomatism (granitization) and causes successive and unsteady supply of Si, Al, Na, K, Rb, Ba, Zr, Nb и Cl into the replaced rocks and removal of Fe, Mg, Mn, Ca and some other trace components – Cr, Co, Ti, Y and S. The processes of metamorphism and metasomatism are presumed to be affected by highly mineralized mantle fluids, which were filtrated along magmatic channels, along which gabbroid magma also rose.

Key words: hornfels, basic volcanics, metasomatism, magmatic replacement, gabbro-norites, Yurchiksky massif, Ganal Ridge, Kamchatka.