

Ф.П. ЛЕСНОВ¹, Ч.К. ОЙДУП², А.А. МОНГУШ²

¹ *Институт геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск, Россия)*

² *Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН (Кызыл, Россия)*

РАЗНОТИПНЫЕ МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВЫЕ МАССИВЫ СКЛАДЧАТЫХ СТРУКТУР ТУВЫ И АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МОДЕЛИ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

В статье представлен обзор существовавших в разное время моделей формирования распространённых на территории Тувы разнообразных по морфологии и размеру массивов, сложенных ультрамафитовыми и мафитовыми породами. Одной из главных проблем формирования таких массивов заключается в выяснении механизмов образования широкой гаммы петрографически неоднородных пород, находящихся в различных количественных соотношениях и локализованных вдоль границ между телами ультрамафитов и габброидов. На ранних этапах их исследований в мировой и отечественной петрологии преимущественно пользовалась модель внутрикамерной дифференциации мафитовых расплавов. Позже появилось представление об офиолитах, в состав которых включались тела ультрамафитов, приуроченные к глубинным разломам. Они рассматривались как продукт кристаллизации высокомагнезиальных расплавов. В дальнейшем мафит-ультрамафитовые массивы на территории Тувы, преимущественно изучавшиеся методами разномасштабного геологического картирования, также интерпретировались в рамках этой офиолитовой модели. Позже получила распространение модель, основанная на концепции тектоники плит, в соответствии с которой офиолиты имеют общее стратифицированное строение, при этом разнообразные породы, локализованные вдоль границ между телами ультрамафитов и габброидов, рассматривались в качестве «кумулятов». По мере дальнейшего изучения контактовых зон между телами ультрамафитов и габброидов на основе структурно-геологических, петрографических, минералогических, геохимических и других данных были получены свидетельства более позднего внедрения габброидных интрузивов по отношению к телам ультрамафитов. На основе этих данных генезис такого рода сложных мафит-ультрамафитовых массивов стало возможным интерпретировать в рамках модели их полигенного формирования.

Ключевые слова: ультрамафиты, габброиды, внутрикамерная дифференциация, мафитовый расплав, тектоника плит, кумуляты, полигенез, Республика Тыва.

Библ. 20 назв. С. 37–43.

Работа выполнена по гос. заданиям ИГМ СО РАН: проект № 0330-2016-0014 и ТувИКОПР СО РАН: проект № АААА-А17-117072710021-1

Ph.P. LESNOV¹, Ch.K. OYDUP² and A.A. MONGUSH²

DIFFERENT MAPHIT-ULTRAMAFITIC MASSIFS OF FOLDING TIVA STRUCTURES AND ALTERNATIVE MODELS OF THEIR FORMATION

¹ *Institute of Geology and Mineralogy SB RAS (Novosibirsk, Russia)*

² *Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources of SB RAS (Kyzyl, Russia)*

The article provides an overview of the formation models that existed at different times and were widespread in Tuva on massifs of diverse morphology and size, composed of ultramafic and mafic rocks. One of the main problems in the formation of such massifs is to elucidate the mechanisms of the formation of a wide range of petrographically heterogeneous rocks that are in various quantitative ratios and localized along the boundaries between the bodies of ultramafic and gabbroids. At the early stages of their research in world and domestic petrology, the model of intracameral

differentiation of mafic melts was used as an advantage. Later, there appeared an idea on ophiolites that included the bodies of ultramafic rocks confined to deep faults. Subsequently, mafic-ultramafic massifs on the territory of Tuva, mainly studied by methods of multiscale geological mapping, were also interpreted within this ophiolite model. Then, a model based on the concept of plate tectonics became widespread, according to which ophiolites have a common stratified structure, and various rocks localized along the boundaries between the bodies of ultramafic and gabbroids were considered as "cumulates." As the contact zones between the bodies of ultramafic and gabbroids were further studied on the basis of structural-geological, petrographic, mineralogical, geochemical and other data, evidence was obtained of the later introduction of gabbroid intrusions due to the ultramafic bodies. Based on these data, the genesis of such complex mafic-ultramafic massifs has become possible to interpret within the model of their polygenic formation.

Keywords: ultramafic, gabbroids, intracamerale differentiation, mafic melt, plate tectonics, cumulates, polingogenesis, the Republic of Tuva.

References 20. P. 37–43.

Ранее было установлено, что в разновозрастных складчатых областях широко распространены различные по размерам и морфологии массивы, сложенные ультрамафитовыми и мафитовыми породами, находящимися в различных количественных соотношениях. Проблемы формирования таких массивов и механизмы образования всего многообразия слагающих их петрографических разновидностей пород были и остаются предметом дискуссий. На определённом этапе исследований таких массивов в мировой и отечественной петрологии превалировала модель, согласно которой мафит-ультрамафитовые массивы представляют собой интрузивы, всё многообразие пород которых было сформировано в результате внутрикамерной дифференциации мафитовых расплавов (Боуэн, 1934). В некоторых массивах было установлено неоднократное внедрение расплавов, поэтому они трактовались, как двух- или трёхфазовые. Позже появилось представление об офиолитах, в состав которых включались тела альпинотипных ультрамафитов. Они тоже обычно рассматривались в качестве интрузивов, образованных при кристаллизации высокомагнезиальных расплавов.

На примере мафит-ультрамафитовых массивов, распространённых на территории Алтае-Саянской складчатой области, Г.В. Пинус и др. (1958) показали, что эти массивы, входя в состав офиолитовой ассоциации, структурно приурочены к зонам долгоживущих глубинных разломов, что обусловило их расположение в виде поясов различной протяжённости. Ф. Тернер и Дж. Ферхуген (1961) в числе первых охарактеризовали основные закономерности размещения собственно ультрамафитовых массивов в складчатых областях в глобальном масштабе. Они показали, что альпинотипные перидотиты и серпентиниты залегают, главным образом, в виде круто падающих пластовых линз, согласных с вмещающими толщами, интенсивно смятыми в складки. Некоторые из этих тел, которые эти авторы называли интрузивами, были прослежены по простиранию на многие километры. Например, на островах Новой Каледонии были описаны многочисленные раннетретичные ультрамафитовые тела различных размеров, наиболее крупные из которых имели протяжённость более 100 км. Кроме того, на востоке Северо-Американского континента в Аппалачских горах был выделен пояс относительно небольших ультрамафитовых массивов общей протяжённостью более 2500 км.

Ю.А. Кузнецов (1964) в сводке по формациям магматических пород также указывал, что ультрамафитовые массивы структурно приурочены к зонам долгоживущих глубинных разломов, будучи сосредоточенными в пределах относительно узких полос (поясов), прослеженных на многие десятки, сотни и даже тысячи километров. У. Ирвин и Р. Колман также констатировали поясовое расположение офиолитовых ассоциаций и входящих в их состав ультрамафитовых массивов в глобальном масштабе (Irvin, Coleman, 1972). На тектонических схемах большинства складчатых областей Азиатского континента (Урал, северо-восток России, Алтае-Саянская склад-

чаятая область, Монголия, зона перехода от Азиатского континента к Тихому океану) подавляющая часть офиолитовых мафит-ультрамафитовых массивов расположена в виде многочисленных поясов. Вместе с тем в некоторых регионах в расположении мафит-ультрамафитовых массивов наблюдается ареальное их размещение, как это видно на примере Восточной Тувы. Исследования показали, что ареальное расположение мафит-ультрамафитовых массивов обычно обусловлено складчато-блоковыми дислокациями земной коры, а также внедрением более поздних гранитоидных батолитов, которые в той или иной мере уничтожили мафит-ультрамафитовые массивы и тем самым «завалировали» их структурную приуроченность к глубинным разломам (Рогов, 1999). Нередки случаи, когда фрагменты мафит-ультрамафитовых массивов сохранились в гранитоидных интрузивах в виде ксеногенных блоков разного размера (Поляков, Богнибов, 1979; Дистанова, 1981).

Выполненное обобщение опубликованных и неопубликованных (фондовых) материалов геолого-петрологических и металлогенических исследований, проводившихся в течение более 100 лет на территории Тувы, показало, что находящиеся в её пределах мафит-ультрамафитовые массивы, значительно варьируют по размеру, морфологии, внутреннему строению, по соотношению площадей выходов ультрамафитов и габброидов на современных эрозионных срезках, по металлогенической специализации, а также по степени изученности. При этом последняя в целом остаётся сравнительно низкой, особенно в части применения современных методов анализа микроэлементного состава пород и минералов (Леснов и др., 2019).

Отметим, что в процессе многолетних исследований мафит-ультрамафитовых массивов, выполнявшихся сотрудниками многих производственных и научных организаций, и по мере накопления новых фактических данных эволюционировали и петрогенетические представления об их генезисе. На протяжении длительного времени мафит-ультрамафитовые массивы на территории Тувы изучались, главным образом, методами разномасштабного геологического картирования, которое в той или иной мере сопровождалось петрографическими, петрохимическими и частично геохимическими методами изучения пород, рудной минерализации и минералов. Интерпретация полученных данных преимущественно базировалась на модели кристаллизационно-гравитационной дифференциации базальтоидных расплавов. В последующий период в исследованиях начала превалировать модель, основанная на парадигме тектоники плит, согласно которой офиолиты имеют общее стратифицированное строение. При этом тела ультрамафитов обычно интерпретируются, как шарьированные полого залегающие тектонические «пластины», а породы *полосчатых комплексов*, локализованных вдоль границ между телами ультрамафитов и габброидов, рассматриваются в качестве «кумулятов» (Колман, 1979).

Здесь следует подчеркнуть, что и в настоящее время многие мафит-ультрамафитовые массивы, расположенные на территории Тувы, прежде всего те, в которых преобладают габброиды, рядом исследователей относятся к категории «расслоенных», то есть образованных в результате внутрикамерной дифференциации мафитовых расплавов, в т. ч. пикритоидных. При этом в качестве главного аргумента для обоснования такой модели служит наличие в таких массивах пород с параллельно-полосчатой текстурой, в которых гипотетически должна наблюдаться так называемая «скрытая расслоенность», то есть смена снизу вверх по разрезу полосчатого комплекса высокотемпературных минеральных парагенезисов низкотемпературными. При этом обычно не приводятся какие-либо аналитические данные по составу минералов, свидетельствующие о реальном проявлении «скрытой расслоенности» в полосчатых породах, хотя её наличие в настоящее время можно эффективно проверить, выполнив серии микронзондовых анализов породообразующих оливинов, ортопироксенов, клинопироксенов и плагиоклазов вкрест простирания полосчатости пород. Так, нами при изучении микронзондовым методом состава породообразующих минералов из параллельно-полосчатых оливинсодержащих габброноритов Калбакдагского мафит-ультрамафитового массива (Тува) было показано, что в этих породах отсутствует

«скрытая расслоенность», и что эти породы кристаллизовались в процессе восходящего движения мафитового расплава. Последний представлял собой структурированную суспензию, которая состояла из вкрапленников оливина, ортопироксена, клинопироксена и плагиоклаза, погружённых в основную массу, сложенную лейстами плагиоклаза, субпараллельно ориентированными длинными осями и «обтекающих» порфировидные вкрапленники (Ойдул и др., 2019).

На основе результатов многолетних исследований офиолитовых мафит-ультрамафитовых массивов, расположенных как на территории Тувы, так и в других складчатых областях, в их строении авторами было предложено выделять четыре главных генетически автономных, но пространственно сближенных структурно-вещественных комплекса магматических пород: 1) протрузии верхнемантийных реститогенных ультрамафитов, ограниченные обычно крутопадающими разломами с породами обрамляющих толщ; 2) преимущественно крутопадающие габброидные интрузивы, прорывающие протрузии ультрамафитов и залегающие вдоль их висячих, реже лежачих тектонических контактов с породами обрамляющих толщ; 3) контактово-реакционные зоны типа А, расположенные вдоль границ габброидных интрузивов и прорываемых ими ультрамафитовых протрузий; 4) контактово-реакционные зоны типа Б, расположенные вдоль границ габброидных интрузивов и прорываемых ими пород вмещающих толщ. Более позднее внедрение габброидных интрузивов по отношению к пространственно сближенными с ними ультрамафитовыми протрузиями устанавливается по следующие признакам: а) присутствие в габброидах в разной мере преобразованных ксенолитов ультрамафитов; б) наличие в ультрамафитах отчётливо секущих тел габброидов (жилы, дайки, штоки); в) наличие значительно варьирующих по мощности и петрографическому составу контактово-реакционных зон, сложенных такситовыми, в т. ч. параллельно-полосчатыми гибридными габброидами и ультрамафитами. Такого рода мафит-ультрамафитовые массивы предложено определять как *полигенные*.

Вся совокупность пород, слагающих полигенные мафит-ультрамафитовые массивы, включает в себя пять групп их петрографических разновидностей, имеющих различный состав и генезис: 1) относительно однородные по количественно-минеральному и химическому составу, структуре и текстуре *ортомагматические* ультрамафиты, представляющие собой *реститы* — тугоплавкие остатки, образованные при разных степенях частичного плавления верхнемантийного протолита (лерцолиты, гарцбургиты, дуниты); 2) относительно однородные по тем же признакам *ортомагматические* габброиды, которые кристаллизовались из примитивных (неконтаминированных) верхнемантийных расплавов (безоливиновые, реже оливинсодержащие габбронориты, габбро и нориты); 3) в различной мере неоднородные по количественно-минеральному и химическому составу, структуре и текстуре *гибридные* (парамагматические) ультрамафиты, сформированные в результате магмометасоматического преобразования реститогенных ультрамафитов и их серпентинизированных разновидностей под воздействием мафитовых расплавов и их флюидов (плагиолерцолиты, плагиогарцбургиты, плагиодуниты, верлиты, плагиоверлиты, оливиновые и безоливиновые клинопироксениты, ортопироксениты и вебстериты, их плагиоклазсодержащие разновидности); 4) в различной мере неоднородные по количественно-минеральному и химическому составу, структуре и текстуре *гибридные* (парамагматические) габброиды (группа А), которые кристаллизовались из примитивных верхнемантийных мафитовых расплавов, в разной мере контаминированных веществом реститогенных ультрамафитов (оливиновые габбронориты и габбро, троктолиты, анортозиты); 5) в различной мере неоднородные по количественно-минеральному и химическому составу, структуре и текстуре *гибридные* (парамагматические) габброиды (группа Б), которые кристаллизовались из примитивных верхнемантийных расплавов, в разной мере контаминированных веществом вмещающих вулканогенно-терригенных и метаморфических пород (амфиболовые, биотитовые и кварцсодержащие габбро, габбро-диориты, диориты, кварцевые диориты). Большинству

разновидностей гибридных ультрамафитов и габброидов свойственны такситовые, в т. ч. параллельно-полосчатые текстуры и неравномерно-зернистые, шпировопятнистые и порфиробластовые структуры, широкие вариации геохимического состава, а также частое присутствие оксидной, сульфидной и платиноидной микроминерализации. Напр., с некоторыми мафит-ультрамафитовыми массивами Тувы пространственно и генетически связан ряд месторождений и рудопроявлений асбеста, хромитов, благородных и цветных металлов.

В течение последних десятилетий при изучении мафит-ультрамафитовых массивов Тувы многими исследователями, в т. ч. авторами, начали применяться, хотя и в ограниченных масштабах, новейшие методы анализа, в т. ч. микрозондовый анализ минералов, включая минералы элементов платиновой группы, метод электронной микроскопии, ICP-MS метод определения содержаний элементов-примесей в породах и минералах, методы определения изотопного возраста (Ar/Ar — по амфиболу, Rb/Sr — по плагиоклазу, $U-Pb$ — по циркону), статистические методы обработки результатов аналитических исследований пород, руд и минералов, а также методы численного моделирования эволюции магматических систем. Применение этих подходов позволило заметно повысить уровень познания различных свойств и условий формирования мафит-ультрамафитовых массивов Тувы.

При интерпретации накопленных данных по геологии, петрографии, геохимии, минералогии и металлогении мафит-ультрамафитовых массивов, расположенных на территории Тувы, авторами были учтены собственные и полученные другими исследователями материалы по мафит-ультрамафитовым массивам, расположенным за её пределами — в Северном Прибайкалье, на Чукотке, в Корякии, на Камчатке и о. Сахалин, на Урале, в Монголии, на Северном Памире. Обобщение таких данных по массивам Тувы и указанных регионов позволило предложить разработанную в первом приближении *концепцию полигенного формирования мафит-ультрамафитовых массивов*, распространённых, как в складчатых областях, так и в срединно-океанических хребтах (Леснов, 2015). При реконструкции геологической и геодинамической эволюции территории Тувы важным аспектом является выделение основных этапов раскрытия, развития и закрытия Палеоазиатского океана, а также процессов формирования каледонского полиаккреционного супертеррейна. В процессе эволюции Палеоазиатского океана во многих районах Тувы сформировались охарактеризованные выше многочисленные мафит-ультрамафитовые массивы, в т. ч. входящие в состав офиолитовых ассоциаций. При этом было определено, что время формирования части этих массивов соответствует границе раннего и среднего кембрия, когда протекали аккреционные процессы на территории Тувы (494 ± 16 млн лет) (Ойдуп и др., 2011) и Западной Монголии (510–480 млн лет) (Оюнчиге, 2009). Позже, в течение ордовика, были сформированы некоторые постколлизийные внутриплитные мафитовые интрузивы (Сальникова и др., 2004; Монгуш, Сугоракова, 2013).

На примере Иджимского мафит-ультрамафитового массива (Куртушибинская офиолитовая зона) достоверно установлено, что он, как и подобные ему массивы, является полигенным, и что в нём пространственно сближены протрузии ультрамафитовых реститов, прорывающие её габброидный интрузив и расположенные вдоль их границ контактово-реакционные зоны, сложенные разнообразными гибридными ультрамафитами и габброидами, образованными в процессе активного взаимодействия мафитовых расплавов и их флюидов с более ранними реститогенными ультрамафитами и их серпентинизированными разновидностями (Леснов и др., 2005).

В процессе изучения эталонных мафит-ультрамафитовых массивов Тувы в комплексе с петрографическими и петрохимическими исследованиями микрозондовым методом были определены составы породообразующих, акцессорных и платиновых минералов. Получены первые для территории Тувы данные по изучению связей между распределением ЭПГ и РЗЭ в габброидах, ультрамафитах и хромититах, выявлены признаки обратной зависимости между уровнями накопления этих кон-

трастных по своим группам элементов. Было показано, что по мере повышения степени частичного плавления мантийного протолита концентрация РЗЭ в примитивных мафитовых расплавах последовательно снижалась, в то время как концентрация тугоплавких компонентов, включая Mg, Sr и ЭПГ, наоборот, возрастала (Леснов и др., 2001; Ойдун и др., 2002; Леснов, Ойдун, 2002).

Суммируя всё вышесказанное, ещё раз подчеркнём, что широко распространённые на территории Тувы разнообразные продукты плутонического мафит-ультрамафитового магматизма и слагаемые ими массивы пока изучены недостаточно, особенно с применением комплекса современных аналитических методов. Поэтому дальнейшее расширение комплексных петрологических исследований на данной территории представляется весьма актуальным.

Работа выполнена по гос. заданиям ИГМ СО РАН: проект № 0330-2016-0014 и ТуВИКОПР СО РАН: проект № АААА-А17-117072710021-1.

ЛИТЕРАТУРА

Боуэн Н.Л. Эволюция изверженных пород. – М.; Л.: ОНТИ, 1934. – 324 с.

Дистанова А.Н. Строение плутонов и особенности состава раннепалеозойских гранитоидов Каахемского района Восточной Тувы // Магматические комплексы складчатых областей юга Сибири. – Новосибирск: Наука, 1981. – С. 24–62.

Колман Р.Г. Офиолиты. – М.: Мир, 1979. – 262 с.

Кузнецов Ю.А. Главные типы магматических формаций. – М.: Недра, 1964. – 388 с.

Леснов Ф.П., Монгуш А.А., Ойдун Ч.К. Геохимические связи платиноидов и редкоземельных элементов в мафит-ультрамафитовых породах Тывы (первые данные) // Платина в геологических формациях Сибири: Тез. докл. Междунар. сем. и IV Междунар. горно-геологического форума «МИНГЕО СИБИРЬ 2001 G» (11–14.05.2010, Красноярск) / Гл. ред. канд. геол.-мин. наук А.Г. Еханин. – Красноярск: КНИИГиМС, 2001. – С. 107–110.

Леснов Ф.П., Ойдун Ч.К. Об «антогонизме» палладия и платины с редкоземельными элементами в породах мафит-ультрамафитовых массивах // Геология, генезис и вопросы освоения комплексных месторождений благородных металлов. – М.: ИГЕМ РАН, 2002. – С. 48–52.

Леснов Ф.П., Монгуш А.А., Ойдун Ч.К., Попов В.А. Структурно-генетические взаимоотношения ультрамафитов и габброидов в Куртушибинской офиолитовой ассоциации (Западный Саян) // Ультрамафит-мафитовые комплексы складчатых областей докембрия: Материалы Междунар. конф. – Улан-Удэ, 2005. – С. 59–61.

Леснов Ф.П. Петрология полигенных мафит-ультрамафитовых массивов Восточно-Сахалинской офиолитовой ассоциации. – Новосибирск: Акад. изд-во ГЕО, 2015. – 300 с.

Леснов Ф.П., Кужугет К.С., Монгуш А.А., Ойдун Ч.К. Геология, петрология и рудоносность мафит-ультрамафитовых массивов Республики Тыва. – Новосибирск: Акад. изд-во ГЕО, 2019. – 270 с.

Монгуш А.А., Сугоракова А.М. Возраст и источники магм постколлизионных габброидов Каахемского магматического ареала, Восточная Тува: результаты первых $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и Sm-Nd исследований // Геохимия. – 2013. – № 11. – С. 1042–1047.

Ойдун Ч.К., Леснов Ф.П., Монгуш А.А. Геохимия платины, палладия и родия в ультрамафит-мафитовых массивах Тувы // Металлогения древних и современных океанов–2002. Формирование и освоение месторождений в офиолитовых зонах. – Миасс: ИМ УрО РАН, 2002. – С. 50–55.

Ойдун Ч.К., Леснов Ф.П., Ярмолюк В.В., Лебедев В.И., Сальникова Е.Б. Ультрамафит-мафитовый магматизм Юго-Западной Тувы // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52. – № 3. – С. 354–372.

Ойдун Ч.К., Леснов Ф.П., Королюк В.Н. Состав и генезис сосуществующих минералов в полочатых габброидах Калбакдагского мафит-ультрамафитового массива (Тува) // Геосферные исследования. – 2019. – № 3. – С. 20–34.

Оюнчимег Т. Урэг-Нурская пикрит-базальтовая вулcano-плутоническая ассоциация (Западная Монголия): петрография, минералогия и платиноносность: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2010. – 12 с.

- Пинус Г.В., Кузнецов В.А., Волохов М.И.* Гипербазиты Алтае-Саянской складчатой области. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 256 с.
- Поляков Г.В., Богнибов В.И.* Раннепалеозойский перидотит-пироксенит-габбро-норитовый комплекс салаирид Юго-Восточной Тувы // Базитовые и ультрабазитовые комплексы Сибири. – Новосибирск: Наука, 1979. – С. 118–126.
- Рогов Н.В.* О системах офиолитовых поясов Восточной Тувы // Вопросы петрологии, минералогии, геохимии и геологии офиолитов / Отв. ред. докт. геол.-мин. наук В.И. Лебедев. – Новосибирск: Изд. СО РАН, 1999. – С. 157–165.
- Сальникова Е.Б., Ковач В.П., Козаков И.К., Ойдун Ч.К., Монгуш А.А., Яковлева С.З., Федосеевко А.М.* Возраст и геодинамическая позиция перидотит-пироксенит-анортозит-габбрового мажалькского комплекса, Восточная Тува // Петрология. – 2004. – Т. 12. – № 6. – С. 656–662.
- Тернер Ф. Ферхуген Дж.* Петрология изверженных и метаморфических пород. – М.: Изд-во иностр. лит., 1961. – 592 с.
- Irwin W.P., and Coleman R.G.* Preliminary map showing global distribution of Alpine-type ultramafic rocks and blueschists: U.S. Geol. Survey Map MF-340. – 1972.