

**ИЗОТОПНАЯ ГЕОХРОНОЛОГИЯ МАГМАТИЧЕСКИХ И МЕТАМОРФИЧЕСКИХ
КОМПЛЕКСОВ ХАБАРНИНСКОГО МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВОГО АЛЛОХТОНА
НА ЮЖНОМ УРАЛЕ И ИСТОРИЯ ЕГО СТАНОВЛЕНИЯ**

Пушкарев Е.В.*, Травин А.В., Кудряшов Н.М.***, Готтман И.А.*,
Серов П.А.***, Бирюзова А.П.*, Юдин Д.С.****

**Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия
e-mail: pushkarev@igg.uran.ru*

***Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск Россия*

****Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия*

**ISOTOPE GEOCHRONOLOGY OF MAGMATIC AND METAMORPHIC COMPLEXES
OF THE KHABARNY MAFIC-ULTRAMAFIC ALLOCHTHON
IN THE SOUTHERN URALS AND THE HISTORY OF ITS DEVELOPMENT**

Pushkarev E.V.*, Travin A.V., Kudryashov N.M.***, Gottman I.A.*,
Serov P.A.***, Biryuzova A.P.*, Yudin D.S.****

**Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, Ekaterinburg, Russia
e-mail: pushkarev@igg.uran.ru*

***Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia*

****Geological Institute KSC RAS, Apatity, Russia*

The huge Khabarny mafic-ultramafic allochthon in the Southern Urals has very complicated structure and consists of 5 different magmatic complexes and metamorphic basement. The history of its development is very long and includes several stages: 1) obduction of ophiolite peridotite over the volcanic-sedimentary soil (>425 Ma), 2) upwelling of mantle diapir accompanied by granulite metamorphic rocks formation, crustal extension, formation of deep-crust mafic-ultramafic intrusions with comagmatic shallow-level clinopyroxenite-gabbro-granite intrusions (425-400 Ma), 3) amphibolite metamorphism and granite formation (400-390 Ma), 4) formation of shallow-level layered mafic-ultramafic intrusions and sheeted dyke complex (394 Ma), 5) dolerite dyke swarm formation (D₃-C). The model of the Khabarny mafic-ultramafic allochthon formation has been discussed.

Многие, так называемые, офиолитовые аллохтоны Урала, особенно обладающие значительными размерами, представляют собой сложные, составные геологические образования с очень длительной и непростой историей становления. Вероятно, наиболее типичными примерами таких комплексных, полиформационных мафит-ультрамафитовых аллохтонов являются Войкаро-Сыньинский массив на Полярном Урале и Хабаровинский на Южном. Такого же порядка явления по масштабу и длительности сопровождают формирование дунит-клинопироксенит-габбровых комплексов Урало-Аляскинского типа, объединенных на Урале в гигантскую 1000-километровую линейную структуру Платиноносного пояса. Квинтэссенцией представлений об аккреционной природе Платиноносного пояса Урал (ППУ) является гипотеза «горячего меланжа» или «горячей тектоники», предлагаемая А.А. Ефимовым [2, 3]. Эта модель, критикуемая многими исследователями, несомненно, имеет очень стройный, внутренне-логичный каркас, основанный на геологических наблюдениях. В последнее время были получены многочисленные изотопно-геохронологические данные, свидетельствующие, что длительность формирования массивов ППУ составляет, по крайней мере, 150 млн. лет и это только по наиболее достоверным данным, проверенным разными методами. Имеются свидетельства того, что в составе ППУ принимает участие и очень древнее вещество протерозойского возраста.

С внедрением новых аналитических методов и совершенствованием старых, появилась возможность провести изотопные исследования на Хабаровинском полигенном мафит-ультрамафитовом аллохтоне, который оставался до недавнего времени очень слабо охарактеризованным

в геохронологическом отношении, несмотря на то, что занимает ключевое положение в Сакмарской аллохтонной зоне Южного Урала. Структурно-вещественные комплексы Сакмарской зоны охватывают практически полный цикл развития от преокеанической платформенной стадии венд-кембрийского уровня, до процессов континентального рифтогенеза в кембрии-раннем ордовике, далее к океанической и островодужной стадиям среднего ордовика-силура и аккреционно-коллизийному этапу в силуре и раннем девоне. С последним событием в этом списке, вероятно, связан первый этап формирования крупных мафит-ультрамафитовых аллохтонов на Южном Урале, который продолжился в среднем и позднем девоне при мягкой коллизии Магнитогорской островной дуги среднедевонского возраста, с краем Восточно-Европейского палеоконтинента [6] или с микроконтинентом Уралтау. Все эндогенные процессы в Сакмарской зоне и прилегающих территориях завершаются размывом и образованием постколлизийной малассы зилаирской свиты D_3-C_1 .

Хабарнинский массив, который, по данным геологических исследований, представляет собой верхнюю тектоническую пластину Сакмарской аллохтонной зоны [4, 19], сам является комплексным образованием [1, 5, 7], состоящим из 5 магматических комплексов и метаморфических пород основания аллохтона: 1) офиолитовый дунит-гарцбургитовый комплекс, наиболее древний; 2) восточно-хабарнинский (ВХК) дунит-клинопироксенит-вебстерит-габбро-норитовый комплекс; 3) молостовский комплекс малых кольцевых интрузий клинопироксенит-габбро-гранитного состава; 4) аккермановский верлит-габбро-плагиогранитный комплекс с зонами развития параллельных диабазовых даек; 5) комплекс метаморфических пород, залегающих в основании аллохтона и входящих в его структуру; 6) комплекс жильных диабазов – крупные долеритовые дайки, секущие породы всех, перечисленных выше комплексов. Внутри аллохтона устанавливаются нормальные геологические взаимоотношения между разными комплексами, а с автохтонным окружением массив граничит по зонам «холодных» тектонических нарушений. Петро-геохимические особенности пород выделенных комплексов свидетельствуют о том, что они формировались на разных стадиях геологического развития Уральского подвижного пояса, от океанической, и островодужной до коллизийного столкновения островной дуги с утоненным краем Восточно-Европейской платформы и до постколлизийного растяжения. Проведенные комплексные изотопно-геохронологические исследования пород Хабарнинского аллохтона позволили реставрировать значительную часть истории его геологического развития. Результаты этих исследований обсуждаются в данном сообщении.

Офиолитовый дунит-гарцбургитовый комплекс слагает большую половину аллохтона, занимая его центральную (Главное гарцбургитовое поле) и, соответственно, наиболее верхнюю часть. Преобладающим типом пород являются сильно деплетированные гарцбургиты и апогарцбургитовые серпентиниты. В последнее время, нами установлено присутствие среди перидотитов разновидностей, приближающихся по составу пород и минералов к лерцолитам [8]. Изотопный возраст ультраосновных пород не определен. По аналогии с перидотитами Кемпирсайского массива, залегающего южнее, можно утверждать, что их возраст не моложе позднего силура [28]. Перидотиты прорваны магматическими породами 2, 3, 4 и 6 комплексов. Ранее предполагалось, что перидотиты вместе с расслоенными перидотит-габбровыми массивами, параллельными долеритовыми дайками и плагиогранитами аккермановского комплекса образуют единый офиолитовый комплекс полного строения [15-17, 23]. Однако данные о возрасте аккермановского комплекса, который оказался существенно более молодым, чем предполагалось, противоречат такому представлению. Косвенно о возрасте перидотитов можно судить по возрасту динамометаморфических пород в их контакте, которые образовались, как предполагается, в результате надвигания на них горячей ультраосновной пластины [24, 25]. По данным $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ датирования, возраст амфибола из амфиболитов в северном экзоконтакте массива в районе деревни Белошапка составляет 426 млн. лет. Более молодой возраст 405 млн. лет показали амфиболиты балки Сучково в северо-западном экзоконтакте массива. Следует отметить, что метаморфическая толща, подстилающая перидотиты отличается по строению и набору пород от толщи метаморфических пород в обрамлении восточно-хабарнинского комплекса.

Восточно-хабарнинский комплекс [5] подстилает с востока офиолитовые перидотиты. Комплекс сложен дунитами, верлитами и оливиновыми клинопироксенитами, вебстеритами, габбро-норитами, перечисленными в порядке залегания от кровли к подошве. На всем протяжении

нии, более 20 км с севера на юг, габбро-нориты ВХК подстилаются и непосредственно контактируют с разнообразными по литологии метаморфическими породами, уровень метаморфизма которых соответствует гранулитовой и амфиболитовой фациям. Ориентировки линейности и гнейсовидности как в породах ВХК, так и в подстилающих метаморфических породах согласны, что свидетельствует о синхронности проявления динамотермальных событий. По особенностям петрохимического состава пород ВХК приближается к платиноносным дунит-клинопироксенит-габбровым ассоциациям [1, 5]. Породы характеризуются повышенными содержаниями щелочей, в особенности калия, фосфора, Rb и Sr, дифференцированным спектром РЗЭ, с высоким La/Yb отношением. Габбро-нориты и вебстериты содержат многочисленные блоки гарцбургитов, размером от нескольких метров до нескольких десятков метров, окруженные реакционными верлитовыми или амфибол-пироксеновыми каймами. На юге массиве, в районе балки Танатар, перидотиты совместно с перекрывающими их амфиболитами и гранулитами прорваны дайками порфиридных вебстеритов ВХК. В вебстеритах и габбро-норитах установлены также небольшие ксенолиты метабазитов и субсогласные ксеноблоки дупироксеновых гнейсов, пироксеновых кварцитов, кальцифиров и других пород. Следовательно, более молодой возраст габбро-норитов и вебстеритов ВХК по отношению к офиолитовым перидотитам и метаморфическим породам обрамления, можно считать геологически обоснованным. Систематические данные о возрасте пород ВХК получены только в последнее время. Так, вебстериты, по данным Sm-Nd метода, имеют возраст 411 ± 12 млн. лет [13]. Наиболее древние цирконы из габбро-норитов соответствуют возрасту 412 ± 6 млн. лет. Возраст дунитов пока не определен прямыми изотопными методами, но информация о верхнем возрастном пределе их формирования может быть получена при датировании горнблендитов, секущих дуниты и образующих рои даек различной протяженности и мощности. Цирконы, выделенные из одной такой дайки в районе хромитового рудопроявления «Карьер-9» были продатированы классическим U-Pb методом и на ионном микроанализаторе SHRIMP-II. По результатам классического исследования была получена дискордия с верхним пересечением конкордии на уровне 407 ± 9 млн лет. Изучение горнблендитовых цирконов на ионном микроанализаторе также выявило существование дискордии с верхним пересечением в точке с возрастом 402 ± 23 млн. лет, соответствующей конкордантной популяции цирконов. Термальная эволюция восточно-хабарнинского комплекса проходила по регрессивному тренду, что связано, как мы предполагаем, с кристаллизацией мантийных магм на глубине и выведением их в верхние горизонты земной коры в виде разогретого твердопластичного диапира. Этот процесс был длительным и сопровождался деформациями, частичной общей перекристаллизацией пород, а также сильной перекристаллизацией по локальным сдвиговым зонам с образованием бластомилонитов, анатектическим плавлением габброидов в присутствии воды на уровне фации амфиболитового метаморфизма. Время проявления последнего события четко фиксируется по данным $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ датирования гидроксилсодержащих минералов из вебстеритов и метабазитов. Многочисленные данные укладываются в узкий временной интервал 395-392 млн. лет, приблизительно совпадая с возрастом гранитного палингенеза в обрамляющих ВХК метаморфических породах. Напомним, что полученные ранее результаты K-Ar датирования амфиболов ВХК соответствовали возрасту 380 ± 11 млн. лет [11]. Однако, изотопная история ВХК на этом не заканчивается, а продолжается до позднего девона, что фиксируется в «молодой» Sm-Nd датировке по габбро-норитам (363 ± 25 млн. лет), практически совпадающей с возрастом более молодой популяции цирконов из этих же пород 357 ± 6 млн. лет.

Молостовский комплекс дифференцированных интрузий клинопироксенит-габбро-гранитного состава – включает серию небольших тел, размером до 1 км, прорывающих гарцбургиты Главного поля [5, 7, 26]. Всего насчитывается 6 таких тел. Породы молодостовского комплекса по петрогеохимическим особенностям и составу минералов сходны с породами ВХК и дунит-клинопироксенит-габбровых комплексов Платиноносного пояса Урала. Важную роль в формировании интрузий комплекса играют порфиридные оливиновые клинопироксениты, которые являются наиболее ранними породами в дифференцированных сериях. По минеральному и химическому составу они могут быть сопоставлены с анкарамидами молодых островных дуг Пацифики. Кристаллизация клинопироксенитов завершается формированием парагенезисов, богатых амфиболом, отделение которых приводит к образованию горнблендитов. Высокая флюи-

донасыщенность расплавов провоцирует их активное внедрение и формирование эруптивных брекчий с ксенолитами офиолитовых перидотитов и пород ВХК. Часто породы содержат ксеногенные гранаты и другие минералы из метаморфических пород основания аллохтона. В связи с четкой геологической позицией интрузивов молостовского комплекса представляется важным определение возраста их формирования. Нижнедевонский возраст, равный 405 ± 18 млн. лет получен для пород молостовского комплекса Ю.Л. Ронкиным Rb-Sr изохронным методом [18]. Близкие значения возраста (413 ± 11 млн. лет) были определены K-Ar методом с использованием изохронной модели [11]. Новые $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ данные о возрасте амфиболов и биотитов из пород молостовского комплекса показывают, что они формировались в узком временном интервале 403-398 млн. лет, причем различия в возрасте, рассчитанном по плато или по интегральному распределению ^{39}Ar минимальны, что свидетельствует о высокой корректности данных. Такой же возраст, 399 ± 2 млн. лет, был получен по цирконам из гранодиоритов Молостовского интрузива, U-Pb методом (SHRIMP-II). Все эти данные, казалось бы, свидетельствуют об узком временном интервале формирования интрузий молостовского комплекса, что хорошо согласуется с их магматическим обликом и отсутствием деформаций. Однако существуют и другие данные, которые показывают, что формирование интрузий, вероятно, происходило и в позднедевонское время. Так, возраст амфиболовых габбро Губерлинского интрузива, определенный Sm-Nd методом, соответствует 365 ± 20 млн. лет [14]. Он совпал с U-Pb возрастом цирконов из этих же пород, определенным на ионном микроанализаторе SHRIMP-II. Отметим, что такой же возраст был определен для габбро-норитов ВХК Sm-Nd методом и U-Pb методом для поздней популяции цирконов. Полученные ранее данные о возрасте цирконов из габброидов Губерлинского интрузива тоже свидетельствуют, что он может быть более древним, около 415 млн. лет [27]. Таким образом, можно говорить о том, что главный этап магматизма, приведший к образованию интрузий молостовского комплекса соответствует раннему девону и совпадает по времени с формированием ВХК. Окончательное завершение эндогенной активности в Сакмарской зоне происходило, по-видимому, уже в позднедевонское время. Вероятно, этому этапу соответствуют и завершающие импульсы мантийного мафит-ультрамафитового магматизма, который коррелируется с событиями в Магнитогорской зоне, расположенной восточнее.

Аккермановский верлит-габбро-плагиогранитный комплекс с зонами развития параллельных диабазовых даек [5, 7, 15-17, 23 и др]. Комплекс развит в восточном и в западном обрамлении офиолитовых перидотитов. В основании разреза залегает расслоенная верлит (вебстерит)-габбровая серия. Дайки этих пород прорывают и подвергают антигоритовой серпентинизации экзоконтактные гарцбургиты. Среднюю часть интрузии занимают габбро-нориты, которые переходят кверху в амфиболовые габбро. От подошвы к кровле габбрового тела плагиоклаз становится более кислым, а железистость темноцветных минералов нарастает, что подтверждает представления о расслоенной природе интрузии. Верхние амфиболовые габбро прорываются многочисленными дайками гранитоидов, варьирующих по составу от диоритов до плагиогранитов. В верхней части этой зоны появляются диабазовые дайки, количество которых кверху нарастает, и они переходят в сплошные пакеты параллельных диабазовых даек (полудаек) со скринами габбро, фиксирующих собой локальную зону растяжения. Состав диабазовых даек широко варьирует от базальтов до дацитов с преобладанием андезибазальтов и андезитов, то есть серия субвулканических пород может быть отнесена к непрерывно дифференцированному типу. Можно предположить, что объем интрузивной камеры мог служить корневой зоной дайкового комплекса. Все породы комплекса характеризуются натровой щелочностью, низкими содержаниями титана, фосфора, рубидия и стронция, и MORB-типом распределения РЗЭ. Часть исследователей считает, что местом формирования параллельных даек была спрединговая структура СОХ [23]. Другие геологи предполагают, что комплекс был сформирован в условиях островодужного растяжения, либо задугового спрединга [7, 15-17 и др.], о чем свидетельствуют: непрерывно дифференцированный известково-щелочной характер габбро-плагиогранитной серии и особенности состава параллельных диабазовых даек, которые относятся к серии островодужных высокомагнезиальных андезитов с бонинитовой тенденцией. Обладая определенным сходством по структуре и составу пород с верхними расслоенными, интрузивными и дайковыми сериями офиолитов, аккермановский комплекс объединяется многими исследователями с хабарнинскими гарц-

бургитами в единый офиолитовый комплекс. Появившиеся данные об изотопном возрасте пород опровергают такое представление. Так, из материалов, приведенных выше, можно заключить, что гарцбургиты имеют возраст древнее 425 млн. лет. Ранее, породы аккермановского комплекса были датированы только K-Ar методом по амфиболам. Значения, полученного возраста, соответствуют раннему девону, 394 ± 4 млн. лет [11]. В последнее время удалось осуществить датирование цирконов из габброноритов и плагиогранитов аккермановского комплекса U-Pb методом на приборе SHRIMP-II. В габброидах возраст цирконов соответствует 387 ± 4 млн лет, а в плагиогранитах образуют две группы с возрастом, соответственно 394 ± 2 и 362 ± 2 млн. лет [13]. Таким образом, магматические породы аккермановского комплекса имеют среднедевонский возраст и являются существенно более молодыми по сравнению с офиолитовыми перидотитами. По возрасту, они синхронны с породами баймак-бурибайской свиты среднего девона в Западно-Магнитогорской зоне с которыми имеют существенное сходство по петрогеохимическим характеристикам. [29].

Комплекс метаморфических пород основания аллохтона непосредственно подстилает офиолитовые перидотиты и породы ВХК и участвует вместе с ними в тектонических движениях и деформациях. Метаморфические породы несут важную информацию о времени и характере эндогенных процессов, связанных с формированием аллохтона. Как было отмечено выше, строение разрезов метаморфических пород, подстилающих и контактирующих с гарцбургитами и с породами ВХК, различается. Породы, подстилающие перидотиты представлены апобазальтовыми сланцами и амфиболитами эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций с редкими прослоями метаморфизованных кремней, либо с довольно мощными пачками сильно деформированных серецит-углисто-кремнистых сланцев. Протолитом последних могли послужить углеродисто-кремнистые осадки сакмарской свиты раннего силура, которые представляют собой конденсированные батиальные отложения континентального склона [6]. Эти амфиболиты и сланцы, как считается, сформировались в процессе метаморфизма вулканогенно-осадочной толщи в процессе обдукции на нее офиолитовой пластины [24, 25]. Метаморфическая толща, подстилающая ВХК состоит из двух пластин [10]. Нижняя пластина, удаленная от контакта с габброидами, имеет однородное строение и представлена рассланцованными аповулканогенными эпидотовыми амфиболитами, напоминающими метавулканиты под гарцбургитами. Верхняя пластина представлена сильнодеформированными и метаморфизованными на уровне гранулитовой и амфиболитовой фаций породами, среди которых, помимо метавулканогенных пород, значительный объем занимают метаграувакки, кварциты, метапелиты и т.д. Информация о возрасте метаморфических пород до последнего времени практически отсутствовала.

Нами впервые получены $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ методом данные о возрасте амфиболитов, подстилающих гарцбургиты. В северном эндоконтакте аллохтона, в районе дер. Белошапка, возраст амфиболитов оказался равным 426-428 млн. лет. В северо-западном блоке (Сучковский блок) амфиболиты характеризуются большей нарушенностью аргоновой изотопной системы и показывают возраст по аргоновому плато около 405 млн. лет. Более систематически было проведено датирование метаморфических пород в обрамлении ВХК. Так, наиболее древние породы представлены биотит-гранатовыми гнейсами, подстилающими габбронориты ВХК, в которых возраст цирконов, определенный U-Pb методом на SHRIMP-II, соответствует среднему ордовику, 461 млн. лет. Возраст шпинель-кордиерит-силлиманитовых гранатитов гранулитовой фации, определенный Sm-Nd методом, составил 423 ± 6 млн. лет [9]. Sm-Nd возраст гранатовых амфиболитов верхней толщи равен 415 ± 8 млн. лет [12], а U-Pb возраст цирконов из кварц-полевошпатовой лейкосомы этих пород, определенный локальным методом на приборе SHRIMP-II и валовым методом на термоионизационном масспектрометре, равен, соответственно, 389 ± 5 и 387 ± 29 млн. лет. $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ возраст амфибола из гранатовых амфиболитов имеет значения 397 ± 4 млн. лет по аргоновому плато и 390 ± 4 млн. лет по общему выделенному аргону. Эти значения практически совпадают по времени с амфиболитовым метаморфизмом, при котором происходит формирование анатектических гранитов в верхней метаморфической толще. По данным $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ датирования возраст этого процесса соответствует 398-390 млн. лет. Следовательно, можно сделать заключение, что возрастные рубежи метаморфических преобразований пород в обрамлении ВХК синхронизируются с событиями внутри самого восточно-хабарнинского комплекса. Наиболее древние датировки пород ВХК (412 млн. лет), совпадают со временем проявления динамотермального метаморфизма гранулитовой и верхов амфи-

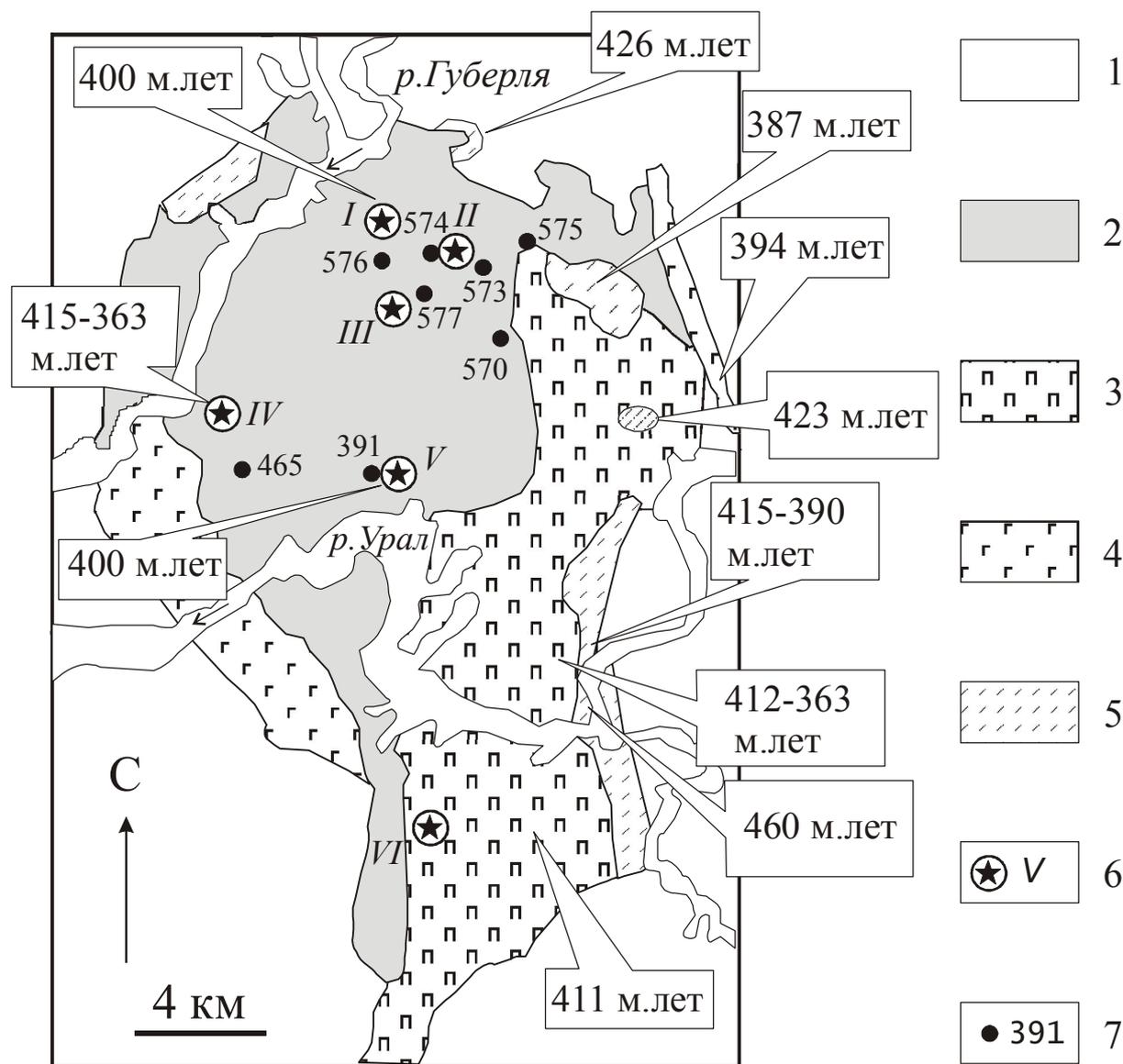


Рис. 1. Схема геологического строения Хабаровинского мафит-ультрамафитового аллохтона (по материалам ПГО «Оренбурггеология»).

1 – вмещающие вулканогенно-осадочные и метаморфические породы палеозоя, 2 – перидотиты офиолитового дунит-гарцбургитового комплекса, 3 – восточно-хабарнинский дунит-клинопироксенит-вебстерит-габбро-норитовый комплекс, 4 – аккермановский верлит-габбро-плагиогранитный комплекс с зонами развития параллельных диабазовых даек, 5 – метаморфические породы основания аллохтона (амфиболиты, гнейсы, сланцы и т.д.), 6 – интрузивы молостовского комплекса: I – Молостовский, II – Белошанкинский, III – Придорожный, IV – Губерлинский, V – Танатарский, 7 – номера и положение некоторых глубоких скважин. На врезках указан абсолютный возраст изученных пород и их примерное положение в структуре Хабаровинского аллохтона, остальные пояснения в тексте.

болитовой фаций (423-410 млн. лет). Формирование интрузивных пород молостовского комплекса (около 400 млн. лет) из флюидонасыщенных ультраосновных и основных магм близко по времени к закрытию K-Ar и $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ систем в гидроксилсодержащих минералах ВХК и к проявлению гранитного анатексиса и амфиболитового метаморфизма в обрамлении (398-390 млн. лет). Последние события происходят также при активном участии водного флюида. Изотопная эволюция ВХК и, по-видимому, молостовского комплекса продолжается вплоть до позднего девона, о чем свидетельствует присутствие «молодых» цирконов с возрастом около 360 млн. лет. Это можно объяснить продолжающейся эндогенной активностью, с которой мы связываем формирование огромного роя даек долеритов (комплекс 6), секущих все породы Хабаровинского аллохтона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые на основе систематических данных геохронологического датирования пород различных комплексов (рис. 1) можно обоснованно представить последовательность формирования структуры Хабарнинского мафит-ультрамафитового аллохтона на Южном Урале и рассмотреть историю его становления. Так, обдукция офиолитовых перидотитов на вулканогенные толщи и, предположительно, на кремнисто-углистые осадки сакмарской свиты имеет возраст около 425 млн. лет. Это время знаменует собой закрытие Сакмарского океанического бассейна, элементом строения которого являются вулканогенные отложения островодужной губерлинской свиты ордовикского возраста [20, 21]. По времени с обдукцией совпадает также начало проявления мантийного магматизма, продуктом которого являются ВХК (412 млн. лет) и молостовский комплекс (415-400 млн. лет), и гранулитовый метаморфизм в обрамлении ВХК (423-410 млн. лет). Мы предполагаем, что и магматизм, и метаморфизм инициированы внедрением мантийного диапира в область «астеносферного окна», образовавшегося в результате разрыва слэба при коллизии «отмершей» губерлинской дуги с краем Восточно-Европейского палеоконтинента. В метаморфический процесс были вовлечены как вулканогенные породы, так и терригенные осадки (пеллиты и граувакки), субстратом для которых послужили размываемые породы ордовикской вулканической дуги (461 млн. лет). Сейчас эти породы представлены разнообразными гранулитами и гнейсами. Прогрессивная ветвь эндогенных процессов не восстанавливается. Наблюдению и изучению поддается только регрессивная ветвь эволюции. Она выражается в закономерной смене мантийного магматизма синхронного с гранулитовой фацией метаморфизма ($T=850-750^{\circ}\text{C}$, $P=7-5$ кбар) на амфиболитовую фацию ($T=750-650^{\circ}\text{C}$, $P=5-6$ кбар), синхронную с анатектическим гранитообразованием и, наконец, на амагматичную эпидот амфиболитовую фацию метаморфизма ($T=650-450^{\circ}\text{C}$, $P=3-4$ кбар). Возраст амфиболитового метаморфизма в среднем на 15-10 млн. лет моложе гранулитового и проявлен в интервале 398-390 млн. лет. В это же время в верхних горизонтах земной коры интенсивно развиваются хрупкие деформации, связанные с растяжением нижней коры при внедрении в нее разогретых мантийных масс. В эти ослабленные зоны внедряются «сухие» базальтовые и андезитовые расплавы, формирующие гипабиссальные расслоенные мафит-ультрамафитовые интрузии и комплекс параллельных диабазовых даек аккермановского комплекса (394 млн. лет). Эндогенная активность продолжается и в более молодое время, что зафиксировано формированием многочисленных даек титанистых долеритов рифтогенного типа, секущих все породы аллохтона. Возраст этих пород пока достоверно не установлен, но, по-видимому, он будет не моложе позднего девона-карбона.

Выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проекты: 09-05-00911-а) и Программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН № 10 «Строение и формирование основных типов геологических структур подвижных поясов и платформ».

ЛИТЕРАТУРА

1. Варлаков А.С. Петрография, петрохимия и геохимия гипербазитов Оренбургского Урала. М.: Наука, 1978. 238 с.
2. Ефимов А.А. Габбро-гипербазитовые комплексы Урала и проблема офиолитов. М.: Наука, 1984. 232 с.
3. Ефимов А.А. Платиноносный пояс Урала: тектоно-метаморфическая история древней глубинной зоны, записанная в ее фрагментах // Отечественная геология. 1999. № 3. С. 31-39.
4. Иванов К.С., Пучков В.Н. Геология Сакмарской зоны Урала (новые данные). Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. 86 с.
5. Петрология постгарцбургитовых интрузивов Кемпирсайско-хабарнинской офиолитовой ассоциации (Южный Урал) // Балыкин П.А., Конников Э.Г., Кривенко А.П., Леснов Ф.П., Лепетюха В.В., Литвинова Т.И., Пушкарев Е.В., Ферштатер Г.Б. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. 160 с.
6. Пучков В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 2000. 146 с.
7. Пушкарев Е.В. Геологическое строение Хабарнинского мафит-ультрамафитового аллохтона по данным бурения и наземных исследований: взаимоотношения мантийных и коровых комплексов // Офиолиты: Геология, петрология, металлогения и геодинамика. Екатеринбург: Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 2006. С. 129-137.
8. Пушкарев Е.В. Истошные лерцолиты Хабарнинского массива на Южном Урале // Ежегодник-1997. Екатеринбург: Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 1998. С. 109-111.

9. *Пушкарёв Е.В., Бирюзова А.П., Серов П.А.* Шпинель-кианит-кордиеритовые гранатиты – индикаторы пиковых параметров и возраста гранулитового метаморфизма в экзоконтактовом ореоле восточно-хабарнинского габбро-ультрамафитового комплекса на Южном Урале // Ежегодник-2007. Екатеринбург: Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 2008. С. 172-181.
10. *Пушкарёв Е.В., Готтман И.А., Бирюзова А.П.* Особенности геологического строения комплекса метаморфических пород в восточном экзоконтакте Хабарнинского массива на Южном Урале // Ежегодник-2003. Екатеринбург: Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 2004. С. 189-193.
11. *Пушкарёв Е.В., Калеганов Б.А.* К-Аг датирование магматических комплексов Хабарнинского габбро-гипербазитового массива (Южный Урал) // ДАН. 1993. Т. 328. № 2. С. 241-245.
12. *Пушкарёв Е.В., Серов П.А., Бирюзова А.П.* Изотопные Sm-Nd данные о раннедевонском возрасте динамометаморфизма в основании офиолитовых аллохтонов в Сакмарской зоне Южного Урала // Доклады РАН. 2007. Т. 413. № 2. С. 224-228.
13. *Пушкарёв Е.В., Феритатер Г.Б., Костицын Ю.А., Травин А.В.* Новые данные об изотопном возрасте магматических пород Хабарнинского мафит-ультрамафитового аллохтона: геологические следствия // Ежегодник-2007. Екатеринбург: Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 2008. С. 277-285.
14. *Пушкарёв Е.В., Чант Р., Тэйлор Р.* Возраст габбро-ультрамафитового магматизма, завершающего обдукцию офиолитов в Сакмарской зоне Южного Урала по данным Sm-Nd изотопии // Ежегодник-2004. Екатеринбург: Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 2005. С. 283-289.
15. *Разумовский А.А.* Геологическое строение подошвы Хабарнинского аллохтона (западный фрагмент, участок на р. Урал) // Геология и металлогения ультрамафит-мафитовых и гранитоидных интрузивных ассоциаций складчатых областей. Екатеринбург: Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 2004. С. 152-156.
16. *Разумовский А.А.* Расслоенный комплекс аккермановского фрагмента офиолитовой ассоциации Хабарнинского аллохтона (Южный Урал) // Геология и металлогения ультрамафит-мафитовых и гранитоидных интрузивных ассоциаций складчатых областей. Екатеринбург: Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 2004. С. 156-160.
17. *Разумовский А.А., Астраханцев О.В.* Структурные особенности дайкового комплекса офиолитовой ассоциации Хабарнинского массива // Очерки по региональной тектонике. Т. 1. Южный Урал. М.: Наука, 2005. С. 179-212.
18. *Ронкин Ю.Л.* Изотопы стронция – индикаторы эволюции магматизма Урала // Ежегодник-1988. Свердловск: Ин-т геологии и геохимии УрО АН СССР, 1989. С. 107-110.
19. *Руженцев С.В.* Краевые офиолитовые аллохтоны (тектоническая природа и структурное положение). М.: ГИН АН СССР, 1976. Вып. 283. 173 с.
20. *Рязанцев А.В., Борисенко Д.В., Дубинина С.В., Калинина Е.А., Кузнецов Н.Б., Матвеева Е.А., Аристов В.А.* Общая структура Сакмарской зоны Южного Урала в районе медногорских колчеданных месторождений // Очерки по региональной тектонике. Т. 1. Южный Урал. М.: Наука, 2005. С. 84-134.
21. *Рязанцев А.В., Дубинина С.В., Кузнецов Н.Б., Белова А.А.* Ордовикские структурно-формационные комплексы в аллохтонах Южного Урала // Геотектоника. № 5. 2008. С. 49-78.
22. *Савельева Г.Н.* Габбро-ультрабазитовые комплексы офиолитов Урала и их аналоги в современной океанической коре. М.: Наука, 1987. 246 с.
23. *Семенов И.В.* Палеоокеанический спрединговый вулканизм Урала и реконструкция параметров Уральского палеозойского океана. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 368 с.
24. *Соболев С.Ф., Панях Н.А.* Приконтактный метаморфизм офиолитовых массивов Южного Урала // Известия АН СССР. Сер. геол. 1992. № 1. С. 22-42.
25. *Соболев С.Ф., Панях Н.А.* Природа зеленосланцево-амфиболитовых ассоциаций экзоконтактовых зон Хабарнинского офиолитового массива // Известия АН СССР. Сер. геол. 1983. № 9. С. 53-68.
26. *Феритатер Г.Б., Бородин Н.С., Пушкарёв Е.В., Чащухина В.А.* Габбро и гипербазиты, ассоциированные с гипербазитами Кемпирсайского и Хабарнинского массивов на Южном Урале. Свердловск: Ин-т геологии и геохимии УНЦ АН СССР, 1981. 74 с.
27. *Феритатер Г.Б., Краснобаев А.А.* Свидетельства полигенности и полихронности офиолитовых комплексов Южного Урала // Офиолиты: геология, петрология, металлогения и геодинамика. Екатеринбург: Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 2006. С. 167-171.
28. *Melcher F., Grum W., Thalhammer T.V., Thalhammer O.A.R.* The giant chromite deposits at Kempirsai, Urals: constraints from trace element (PGE, REE) and isotope data // Mineralium Deposita. 1999. V. 34. P. 250-272.
29. *Spadea P., Kabanova L.Ya., Scarrow J.H.* Petrology, geochemistry, and geodynamic significance of mid-devonian boninitic rocks from the Baimak-Buribai area (Magnitogorsk zone, southern Urals) // Ophioliti. 1998. V. 23. № 1. P. 17-36.