

МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ИЛЬМЕНО-ВИШНЕВОГОРСКОГО КОМПЛЕКСА ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД И КАРБОНАТИТОВ

Е.П. Макагонов

Основные модели формирования Ильмено-Вишневогорского комплекса щелочных пород и карбонатитов сводятся к следующим: корового анатексиса (паленгенно-метасоматическая); континентального рифтового (плюмового) магматизма с последующим реоморфическим перемещением миасцитов на верхнекорový уровень; мантийного анатексиса с процессами корового взаимодействия; субдукционного анатексиса; двухстадийного выплавления миасцитов. Различие мнений обусловлено отличием объекта от классических комплексов, его сложностью и неоднозначностью получаемых лабораторных данных. Определения радиологического возраста минералов щелочных пород и карбонатитов, произведенные разными авторами, пересекаются и в целом охватывают практически весь период Уральской истории: от раскрытия Уральского океана и заложения Сысертско-Ильменогорского микроконтинента в ордовике до юрского периода. Наряду с изотопными соотношениями, указывающими на магматогенную природу, отмечается, что значительная часть анализов попадает в поле гидротермального генезиса. Наши данные показывают, что вся система неоднократно переходила от хрупкого состояния (с трещинообразованием и катаклизмом) к пластическому (с реологическим течением и с подплавлением пород). Эти процессы завершались обратными: кристаллизацией, пластическим течением, хрупкими деформациями – и периодически проявлялись в течение истории формирования уральских структур, что возможно связано с долгоживущей горячей точкой, возникшей над мантийными потоками.

Ключевые слова: Ильмено-Вишневогорский комплекс, щелочные породы, карбонатиты.

Ильмено-Вишневогорский комплекс щелочных пород и карбонатитов приурочен к Сысертско-Ильменогорскому антиклинорию, располагаясь в его центральной части в виде субмеридиональной полосы длиной 120 км. В северной части комплекса находится Вишневогорский миасцитовый массив и седловидная залежь миасцитов. В южной части комплекса располагается Ильменогорский миасцитовый массив.

Метаморфические породы, вмещающий комплекс, в северной части залегают в виде крутой синформы, запрокинутой на восток с падением крыльев на запад; в средней части метаморфические толщи залегают субвертикально, а в южной части они запрокинуты на запад с падением крыльев синформы на восток. Кровли миаскитовых массивов залегают конформно с вмещающими породами. Миаскиты северной части Ильменогорского массива и южной части Вишневогорского массива по мере удаления от их ядерных частей постепенно и послойно замещаются сиенитами, фенитами и гнейсо-мигматитами.

Карбонатиты и щелочные пегматиты приурочены преимущественно к эндо- и экзоконтактовым частям массивов, образуя сеть секущих и субсогласных жильных тел. В промежутке между массивами карбонатитовые, карбонатитоидные и пегматитовые тела образуют свиты протяженных жил расположенных вдоль или косо к слоистости фенитизированных гнейсов, амфиболитов, кварцитов, кристаллических сланцев.

Полоса щелочных пород пересекается широкой зоной разрывных нарушений и надвигов Кыштымского сдвига, проходящей от северо-восточного края щелочной полосы к ее юго-западному краю. Для тектонической полосы характерно наличие зон бластомилонитов, секущих практически все породы.

Подробное описание строения и состава геологических составляющих комплекса приведено в ряде работ [1–4].

Ильмено-Вишневогорский комплекс изучался периодами в течение почти 180 лет, но вопросы генезиса до сих пор остаются дискуссионными. В настоящее время предложено несколько моделей формирования массива.

1. Модель корового анатексиса (палингенно-метасоматическая). По этой модели история становления миаскитового массива началась с формирования подинтрузивного комплекса, где происходило взаимодействие мантийного щелочно-водно-карбонатитового флюида с кварцсодержащими метаморфическими породами земной коры. При этом произошло образование нефелин-полевошпатовых мигматитов и миаскитовый анатексис. Независимо от миаскитовой магмы в подинтрузивном комплексе формировались также мантийно-интрузивные карбонатиты [3].

Миаскитовый расплав интродировал в полости отслоения в сводовых частях структуры с отделением при кристаллизации щелочных флюидов. Флюиды мигрировали зону экзоконтакта с образованием пегматитового расплава и остаточного флюида, эволюционирующего от щелочного до щелочно-карбонатитового. В качестве продуктов фракционирования миаскитовой интрузии в надинтрузивном комплексе формировалась вторая группа карбонатитов (флюидно-интрузивно-камерные) [3].

2. Модель континентального рифтового (плюмового) магматизма с последующим реоморфическим перемещением миасцитов на верхнекоровый уровень. По этой модели миаскит-карбонатитовый комплекс Ильменских–Вишневых гор является производным глубинного щелочно-ультраосновного магматизма [5]. Становление интрузии связано с континентальными рифтовыми (плюмовыми) процессами, предшествующими открытию Уральского океана возрастом не менее 490 млн лет (S_{3-O_1}). Предполагается, что в этот период произошло отделение от пород щелочно-ультраосновной ассоциации нефелин-сиенитового существенно карбонатизированного расплава, из которого в интервале 415–420 млн лет (S_{2-3}) произошло обособление миаскитового расплава. В заключительную стадию (380–385 млн лет, D_{2-3}) произошло его расслоение на миаскитовую и карбонатитовую составляющие [5].

Предполагается, что Ильменогорский и Вишневогорский миаскитовые массивы изначально представляли собой единую интрузию центрального типа. В конце палеозоя происходило реоморфическое перемещение миасцитов на верхнекоровый уровень в связи с формированием регионального постколлизийного сдвига (P_{1-2}), датируемого по поздним генерациям цирконов в 275–285 млн лет. При развитии сдвига массив был диспергирован и растащен в субмеридиональном направлении более чем на 100 км. Вмещающие породы подверглись хрупко-пластическим деформациям в условиях повышенных давлений флюида, достигающих 10–13 кбар. Под влиянием флюида происходило растворение кварца, десиликация кварцсодержащих пород, вызывающая синдеформационную фенитизацию [5]. Данные о повышенном давлении флюида были получены на основе изучения полосы милонитизированных тектонитов севернее Ильменогорского массива в наиболее узкой и наиболее деформированной части между Ильменогорским и Вишневогорским массивами [6].

3. Модель мантийного анатексиса с процессами корового взаимодействия. По изотопным отношениям источником щелочно-карбонатитовой магмы предполагается существование резервуара из смеси деплетированной и обогащенной мантий (DM и EM1). При поступлении магмы из зоны плавления мантийного плюма добавлялся коровый материал [7]. По Л.С. Бородину Ильмено-Вишневогорская зона принадлежит к «флюидно-анатектической, мантийно-коровой» формации [8].

4. Модель субдукционного анатексиса. В основу модели положены представления авторов о формировании в силуре-позднем девоне зоны субдукции, падающей на восток и поглощавшей кору раннего Уральского океана. Формирование карбонатитов и нефелиновых сиенитов происходило в пределах надсубдукционного комплекса при совместном переплавлении известняков нижнего палеозоя (эмского возраста раннего девона,

~397–407 млн лет) с меланжированными серпентинитами. Впоследствии интрузия была разорвана крупным правым сдвигом [9, 10].

5. Модель двухстадийного выплавления миаскитов. Предполагается, что миаскиты Ильменогорского массива являются продуктами ремобилизации рифтогенных нефелиновых сиенитов (фойяитов?, фонолитов?) нижнего палеозоя. В конце палеозоя сдвиговые деформации в древнем среднем массиве кристаллических сланцев образовали складки волочения на поверхности отслоения между архейским селянкинским блоком и выше лежащим ильменогорским. Деформации сопровождались расплавлением ранних нефелиновых сиенитов. Расплав и флюид отжимались в свод структуры, формируя залежь миаскитов [11].

Различие мнений обусловлено отличием объекта от классических комплексов, его сложностью и неоднозначностью получаемых лабораторных данных.

Значения радиологического возраста, произведенные разными авторами преимущественно по цирконам из щелочных пород и карбонатитов, пересекаются и охватывают практически весь период Уральской истории от раскрытия Уральского океана и заложения Сысертско-Ильменогорского микроконтинента в ордовике до юрского периода. На рис. 1 данные определенных публикаций выделены цветом.

Наибольшее количество возрастных значений получено при исследовании цирконов из щелочных пород Ильменогорского миаскитового массива преимущественно методом SHRIMP-II (№ 1–6 на рис. 1) и классическим (№ 7, там же).

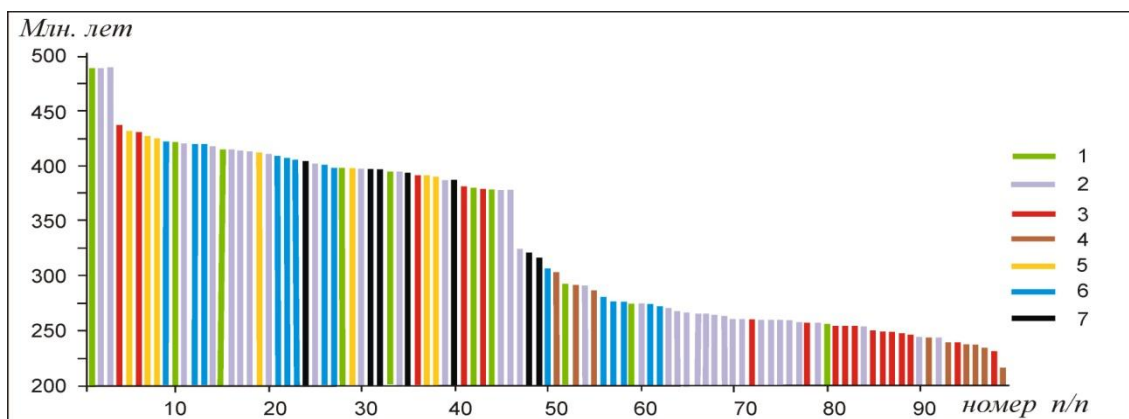


Рис. 1. Ранжированный ряд U-Pb возраста цирконов Ильменогорского массива.

Вмещающие породы: 1 – амфиболовый миаскит [12]; 2 – миаскит [13]; 3 – нефелин пегматитов [14]; 4 – полевошпат пегматитов [14]; 5 – миаскит [15]; 6 – малиньит [16]; 7 – нефелиновые сиениты миаскитового состава [17]

Среди них можно выделить два возрастных периода. Первый период укладывается в интервал 437–378 млн лет (среднее 408 млн лет), при от-

дельных значениях – 489–488 млн лет (см. рис. 1). Возраста равномерно укладываются почти в непрерывную линию. Более высокие значения возраста из-за неопределённости не учитываются, но протерозойские датировки обычны для вмещающих метаморфических пород.

Второй блок радиоизотопных возрастов щелочных пород Ильменогорского массива охватывает интервал 325–181 млн лет со средним и модальным значениями 260–263 млн лет (см. рис. 1).

Временной интервал между датированными периодами совпадает со временем завершения уральской субдукции и началом коллизии [18].

Распределение возрастных данных для щелочных пород Вишневогорского массива, при меньшем количестве определений, подобно распределению в Ильменогорском массиве: с периодами 440–368 млн лет и 314–218 млн лет.

Менее контрастно распределение возрастных значений для минералов из карбонатитов Вишневогорского массива (рис. 2). Здесь также намечаются два интервала данных с относительно небольшим перерывом: 439–363 с редкими более высокими значениями (до 512 млн лет) и 347–216 млн лет.

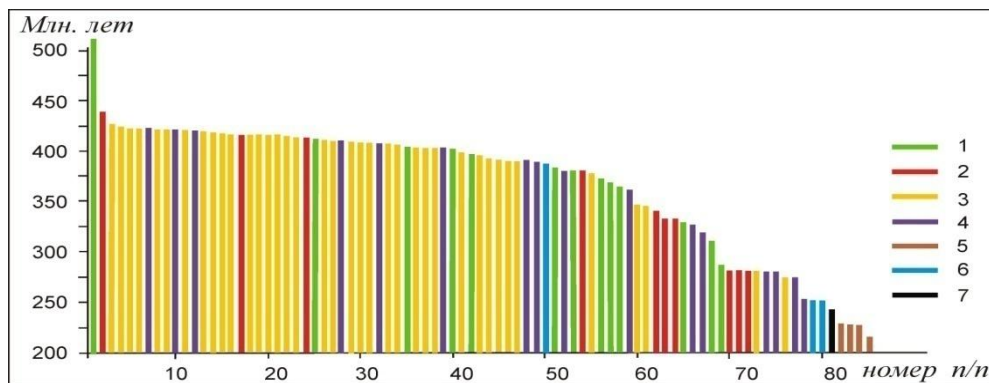


Рис. 2. Ранжированный ряд возрастов минералов из карбонатитов Вишневогорского массива

1–4 – цирконы: 1 – [19], 2 – [20], 3 – [15, 4 – [21]; 5 – пироксены [22]; 6 – пироксен, апатит, биотит, карбонат и вал [10]; 7 – карбонатит [23]. Методы исследования: 1–3 – U-Pb SHRIMP-II; 4–5 – U-Pb LA ICP-MS и SHRIMP-II, 6 – Sm-Nd изотопная система; 7 – Rb-Sr метод

Наряду с изотопными соотношениями, указывающими на магматогенную природу цирконов, отмечается, что значительная часть анализов попадает в поле гидротермального генезиса. Это интерпретировано как метасоматическое преобразование ранних цирконов [13] или метаморфогенные генерации [21].

Ильменогорский и Вишневогорский миаскитовые массивы генетически связаны, но предположение о частях первоначально единого кольцеобразного массива, впоследствии разорванного и растащенного, весьма гипотетичны. Специальными исследованиями определено, что максимальное смещение по Кыштымскому сдвигу достигало лишь до 43 ± 15 км [24].

Не соответствуют классике щелочно-ультраосновным комплексам форма и характер границ массивов. Миаскитовые массивы конформны с вмещающими породами. Редкие кососекущие контакты наблюдаются в зонах с интенсивной деформацией и тектоническими срывами. В миаскитовых породах, слагающих основные массивы, практически отсутствуют первичные текстурные и структурные особенности. Они преобразованы поздними динамометаморфическими процессами в гнейсы с директивными структурами и складчатостью, совпадающими со структурами во вмещающих метаморфических толщах.

В пределах миаскитовых массивов субсогласные и секущие жильные тела щелочных пород, карбонатитов и пегматитов приурочены в основном к их эндо- и экзоконтактовым частям. В промежутке между миаскитовыми массивами в фенитизированных метаморфитах такие жилы залегают в виде систем субпараллельных жил и линейных штокверков, вытянутых по простиранию вмещающих пород.

Карбонатиты Ильмено-Вишневогорского комплекса с учетом морфологии и геологического положения были отнесены к формации «линейно-трещинных» зон [25]. Карбонаты – постоянная примесь в щелочных породах, нередко достигающая порообразующих количеств. Они характерны для центральных частей щелочных пегматитов и остаточных пустот. Обычно в зальбандах карбонатных тел отмечаются друзовые пегматоидные агрегаты минералов по составу близкие к минералам вмещающих пород. Особенность минералов из зальбандов карбонатитовых тел – более высокое содержание щелочей, чем в однотипных минералах вмещающих пород. В зальбандах тел карбонатитов, пересекающих гипербазиты, наблюдаются флогопитовые зоны. При этом сами гипербазиты в зонах экзоконтактов метасоматически преобразованы в тремолит-рихтеритовые агрегаты.

Участки сегрегации минералов, содержащих редкие и редкоземельные элементы, приурочены обычно к зонам контактов пегматоидных силикатов с карбонатами. В целом, расположение распределение и формы выделения карбонатных агрегатов в щелочном комплексе подобны кварцу в гранитных пегматитах. Здесь вполне подходят представления А.Е. Ферсмана о кристаллизации пегматитов из остаточного расплава, обогащенными летучими компонентами, с переходом в пневматолитовую и гидротермальную стадии при значительном участии оксидов и гидроксидов углерода.

Наши данные, полученные на основе изучения составов, структурно-текстурных особенностей и взаимоотношений геологических тел, показывают, что вся система неоднократно переходила от хрупкого состояния (с трещинообразованием и катаклизмом) к пластическому (с реологическим течением и с подплавлением пород). Эти процессы завершались обратными: кристаллизация, пластическое течение, хрупкие деформации. Судя по геохронологическим данным, этот процесс периодически проявлялся в течение истории формирования уральских структур, что возможно связано с долгоживущей горячей точкой, возникшей над мантийными потоками.

Библиографический список

1. Роненсон, Б.М. Происхождение миаскитов и связь с ними редкометалльного оруденения / Б.М. Роненсон // Геология месторождений редких элементов. – М.: Недра, 1966. – Вып. 28. – 174 с.
2. Щелочно-карбонатитовые комплексы Урала / В.Я. Левин, Б.Н. Роненсон, В.С. Самков и др. – Екатеринбург: Уралгеолком, 1997. – 274 с.
3. Левин, В.Я. Щелочная провинция Ильменских-Вишневых гор / В.Я. Левин. – М.: Наука, 1974. – 223.
4. Глубинное строение Ильменогорского миаскитового массива / Е.П. Макагонов, А.Г. Баженов, Н.И. Вализер и др. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2003. – 180 с.
5. Русин, А.И. Геология и минералогия Ильменогорского комплекса: ситуация и проблемы / А.И. Русин, А.А. Краснобаев, П.М. Вализер // Геология Ильменских гор. – Миасс: ИГЗ УрО РАН, 2006. – С. 3–20.
6. Ворощук, Д.В. Опорный геологический разрез средней части Ильменогорско-Сысертской полиметаморфической зоны / Д.В. Ворощук, А.И. Русин // Путеводитель геологических экскурсий. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – С. 64–95.
7. Недосекова, И.Л. Ильмено-Вишнёвогорский миаскит-карбонатитовый комплекс: происхождение, рудоносность, источники вещества (Урал, Россия) / Н.В. Владыкин, С.В. Прибавкин, Т.Б. Баянова // Геология рудных месторождений. – 2009. – Т. 51, № 2. – С. 157–181.
8. Бородин, Л.С. Генетическая систематика щелочнокарбонатитовых массивов / Л.С. Бородин // Геохимия. – 1994. – № 1. – С. 16–26.
9. Иванов, К.С. О природе карбонатитов Урала / К.С. Иванов // Литосфера. – 2011. – № 1. – С. 20–33.
10. О генезисе карбонатитов складчатых поясов (на примере Урала) / К.С. Иванов, П.М. Вализер, Ю.В. Ерохин, О.Э. Погромская // Доклады академии наук. – 2010. – Т. 435, № 2. – С. 218–222.
11. Баженов, А.Г. К вопросу о генезисе миаскитов / А.Г. Баженов // Геохимия, петрология, минералогия и генезис щелочных пород: тез. Всеросс. совещ. 2006. – Миасс: УрО РАН, 2006. – С. 21–25.
12. Цирконология амфиболовых миаскитов Ильменогорского массива (Южный Урал) / А.А. Краснобаев, А.И. Русин, С.В. Бушарина и др. // Доклады академии наук. – 2010. – Т. 430, №2. – С. 227–231.

13. Цирконология миаскитов Ильменских гор (Южный Урал) / А.А. Краснобаев, П.М. Вализер, С.В. Бушарина, Е.В. Медведева // *Геохимия*. – 2016. – № 9. – С. 797–813.
14. Цирконология пегматитов Ильменских гор / А.А. Краснобаев, П.М. Вализер, В.Н. Анфилогов и др. // *Докл. АН*. – 2014. – Т. 457, № 4. – С. 455–459.
15. Недосекова, И.Л. U-Pb возраст и Lu-Hf изотопные системы цирконов Ильмено-Вишневогорского щелочно-карбонатитового комплекса, Южный Урал / И.Л. Недосекова, Е. А. Белоусова, Б. В. Беляцкий // *Литосфера*. – 2014. – № 5. – С. 19–32.
16. Цирконология малиньитов Ильменских гор (Южный Урал) / А.А. Краснобаев, П.М. Вализер, Е.В. Медведева и др. // *Доклады академии наук*. – 2010. – Т. 434, № 2. – С. 228–231.
17. Типология и U-Pb систематика цирконов: изучение цирконов в нефелиновых сиенитах Ильменских гор, Урал / У. Крамм, И.В. Чернышев, Б. Грауэрт и др. // *Петрология*. – 1993. – Т. 1, № 5. – С. 536–549.
18. Пучков, В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала / В.Н. Пучков. – Уфа: Даурия: ИГ УНЦ РАН, 2000. – 145 с.
19. Краснобаев, А.А. Цирконология карбонатитов Вишневогорского массива (Ю. Урал) / А.А. Краснобаев, И.Л. Недосекова, С.В.Бушарина // *Ежегодник-2008: тр. ИГГ УрО РАН, 2009*. – Вып. 156. – С. 261–263.
20. Цирконология кальцитовых карбонатитов Вишневогорского массива (Южный Урал) / А.А. Краснобаев, А.И. Русин, П.М. Вализер, С.В. Бушарина // *Доклады академии наук*. – 2010. – Т. 431, № 3. – С. 382–385.
21. Недосекова, И.Л. Редкие элементы и изотопный состав гафния как индикаторы генезиса циркона при эволюции щелочно-карбонатитовой магматической системы (ильмено-вишневогорский комплекс, Урал, Россия) / И.Л. Недосекова, Б.В. Беляцкий, Е.А. Белоусова // *Геология и геофизика*. – 2016. – Т. 57, № 6. С. 1135—1154.
22. U-Pb датирование рудных ниобиевых минералов группы пироклора (Ильмено-Вишневогорский карбонатит-миаскитовый комплекс, Южный Урал) / И.Л. Недосекова, В.А. Коротеев, Б.В. Беляцкий и др. // *Литосфера*. – 2018. – Т. 18, № 5. – С. 758–773.
23. Kramm, U. Origin of the Ilmenogorsk-Vishnevogorsk nepheline syenites, Urals, USSR, and their time of emplacement during the history of the ural fold belt: a Rb-Sr study / U. Kramm, A.B. Blaxland, V.A. Kononova, B. Grauert // *J. Geol.* – 1983. – V. 91. – P. 427–435.
24. Hetzel, R. A crustal-scale, orogen-parallel strike-slip fault in the Middle Urals: age, magnitude of displacement, and geodynamic significance / R. Hetzel, J. Glodny // *Int J Earth Sciences (Geol Rundsch)*. – 2002. – P. 231–246.
25. Багдасаров, Ю.А. О некоторых условиях образования карбонатитов линейно-трещинного типа / Ю.А. Багдасаров // *Литосфера*. – 2014. – № 4. – С. 113–119.

[К содержанию](#)