

ЦИРКОНОЛОГИЯ МЕТАМОРФИТОВ КЫШТЫМСКОЙ-АРАКУЛЬСКОЙ ТОЛЩ СЫСЕРТСКО-ИЛЬМЕНОГОРСКОГО КОМПЛЕКСА

А. А. Краснобаев, Б. А. Пужаков, В. И. Петров, С. В. Бушарина

Исследованы цирконы из кыштымской и аракульской толщ Сысертско-Ильменогорского комплекса (СИК), фрагмент стратиграфической схемы которого приведен на рис. 1. Подобные схемы расчленения и корреляции метаморфитов комплекса многократно обсуждались и пересматривались, но до сих пор остаются во многом нерешенными. Это касается и объемов выделенных подразделений, и их возрастного (стратиграфического) положения [3, 4, 7–9]. Своеобразным итогом проведенных исследований может служить геологическая схема СИК [6], на которой отражены ареалы распространения кыштымской и аракульской толщ с указанием их вероятного возраста.

СИТУАЦИЯ

Кыштымская толща (КТ), известная также как “игишская, заозерная, ишкульская”, широко распространена от широты оз. Сунгуль на севере до южного замыкания Сысертско-Ильменогорской структуры в районе южного побережья оз. Б. Еланчик и западного склона Чашковских гор. Она выполняет перемышку между Чашковским и Еланчиковским гранитными массивами. Толща сложена амфиболитами и диопсид-плагиоклазовыми породами, гранат-биотитовыми, биотитовыми, биотит-амфиболитовыми плагиогнейсами, графитовыми и слюдяно-графитовыми плагиогнейсами, кварцитами и редкими прослоями мраморов. С толщей связано Тайгинское месторождение кристаллического графита и ряд его проявлений. Графитистые

гнейсы и кварциты образуют маркирующие прослои, прослеживающиеся на значительные расстояния. Они располагаются преимущественно в верхней половине толщ, а амфиболиты преобладают в нижней. Мощность толщ превышает 900 м, параметры метаморфизма отвечают условиям амфиболитовой фации. Нижняя граница толщ проводится по подошве светлых кварцитов, распространенных у южного берега оз. Еланчик, однако в большинстве случаев контакты толщ замаскированы процессами мигматизации, многочисленными гранитными дайками и разрозненными телами пегматитов и метабазитов.

Контакт с нижележащей и вышележащей толщами тектонический. По геологическим данным возраст толщ различными исследователями определяется как PR₂, V₃–PZ₁, PZ₁, O₃–S₁. Геохронологическая информация для КТ практически отсутствует, а имеющиеся К-Аг датировки (200–400 млн. лет) могут рассматриваться лишь как ориентировочные и связанные с диафторическими преобразованиями. Все это существенно обостряет вопрос о возрасте КТ, от которого “зависит решение проблемы существования (или отсутствия) глубокого размыва и несогласия на границе сайтовской серии, во многих местах явно надвинутой, и более древних блоков Ильменогорского комплекса” [6].

Аракульская толща (АТ) является нижним членом сайтовской серии. Она состоит преимущественно из метатерригенных биотитовых, биотит-гранатовых плагиогнейсов с реликтами blastopelitic структур, иногда со ставролитом, серицитовых и хлорит-серицитовых с порфилобластами биотита филлитовидных сланцев, амфибол-плагиоклазовых кристаллосланцев и графитистых кварцитов. На ней большей частью согласно залегают метабазальтовая вулканогенно-осадочная сайтовская и углеродисто-кремневая игишская толщ. Представления о возрасте АТ весьма неопределенные, и охватывают интервал от R₂ до S₁. Радиологические датировки для нее практически отсутствуют.

Для решения возрастных проблем обеих толщ были датированы кристаллы цирконов на микрозонде SHRIMP II (ВСЕГЕИ) по методике, разработанной ранее [10].

Кыштымская толща в наших исследованиях представлена гранат-биотитовыми плагиогнейсами, отобранными на перегибе южного и западного бортов карьера Тайгинского месторождения кри-

Период	Серия	Толща
V-C _m		Кундравинская
V	Сайтовская	Игишская
		Сайтовская
		Аракульская
PR ₁₋₂	Ильменогорская	Кыштымская
		Еланчиковская
		Ильменогорская

Рис. 1. Фрагмент стратиграфической схемы Сысертско-Ильменогорского комплекса [1].

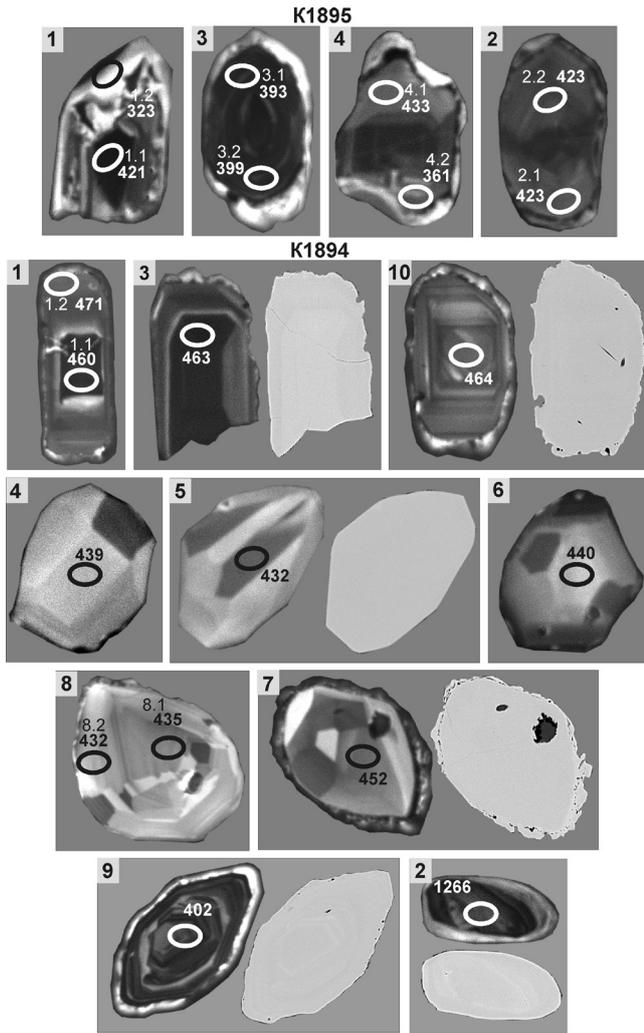


Рис. 2. Микрофологические особенности (CL, BSE) цирконов плагиogneйсов кыштымской (K1895) и аракульской (K1894) толщ.

Цифры у кратеров – номера анализов и возраст по $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$.

сталлического графита вблизи пос. Тайгинка (проба K1895). Для определения возраста аракульской толщи использованы гранат-биотитовые плагиogneйсы из разреза южного берега оз. Аракуль, расположенного в восьми километрах на запад от г. Вишневогорск (проба K1894). Цирконы выделялись по стандартной методике из искусственных протолок.

ЦИРКОНОЛОГИЯ

Кыштымская толща. Специфическая особенность плагиogneйсов КТ – крайне низкое содержание аксессуарных цирконов. Из объемной пробы (около 50 кг) нам удалось выделить всего 8 кристаллов, из которых лишь для 4 были получены аналитические данные (рис. 2–3). Достаточно однородными при CL выглядят кристаллы 2 и 3, заметные преобразования, включая коррозионные,

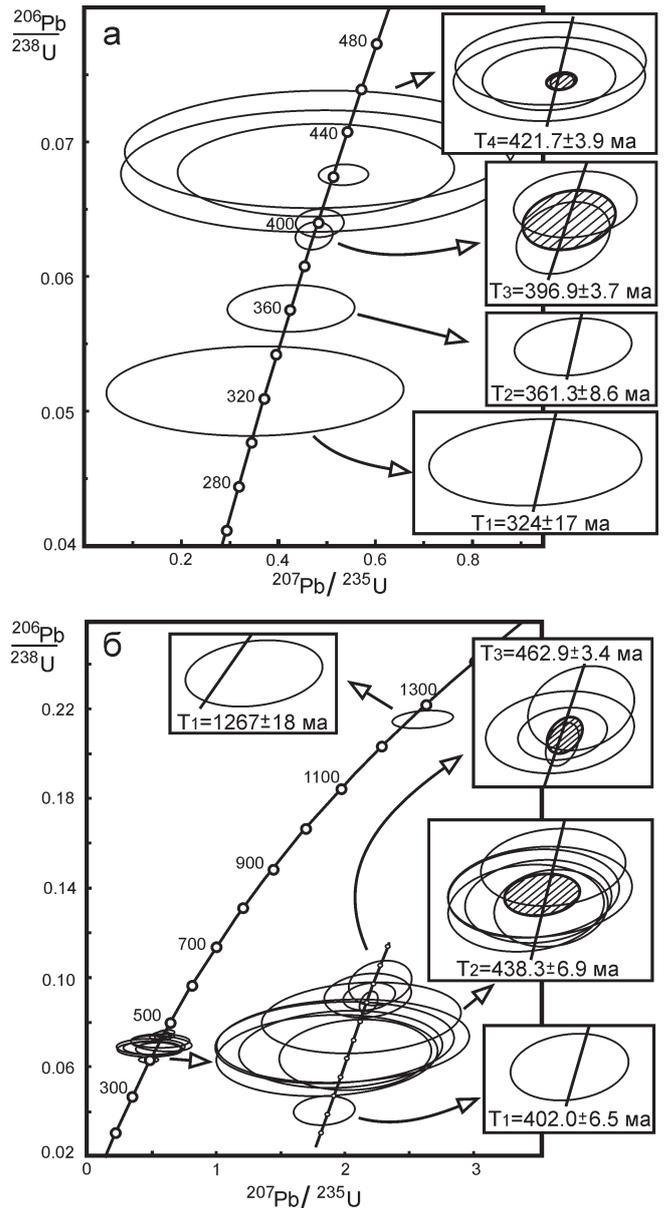


Рис. 3. Возраст цирконов плагиogneйсов кыштымской (А) и аракульской (Б) толщ.

характерны для кристалла 4, и отчетливую рекристаллизацию демонстрирует кристалл 1. Тем не менее, между ними существует отчетливая преемственность, относящаяся и к составу, и к возрасту. Максимальная датировка $T_4 = 421.7 \pm 3.9$ млн. лет (I этап) получена совместно для отдельного кристалла 2 (2.1–2.2) и сохранившихся реликтовых частей кристаллов 4 (4.1) и 1 (1.1). Первые три анализа сопровождаются близостью содержаний U (от 87 до 134 ppm) и Th (от 27 до 45 ppm), что резко отличает их от состава реликтовой части кристалла 1 (U – 1479 ppm, Th – 924 ppm). Отсутствие зависимости изотопных отношений от содержания радиоэлементов позволяет оценить датировку T_4 как возраст образования плагиogneйсов КТ.

Следующий возрастной уровень $T_3 = 396.9 \pm 3.7$ млн. лет (II этап) зафиксировал кристалл 3 (3.1–3.2), у которого и U, и Th значительно больше, чем у кристаллов I этапа, т.е. его образование произошло в существенно обогащенной среде. Возраст $T_2 = 361.3 \pm 8.6$ млн. лет получен для измененной части кристалла 4 (4.2), преобразования которой сопровождалась увеличением содержания U до 303 ppm, что заметно выше, чем у исходной (реликтовой) части (4.1; 102 ppm U). Тенденция, отмеченная для кристаллов I–II этапов, здесь напрямую подтверждается. И, наконец, минимальным определением возраста $T_1 = 324 \pm 17$ млн. лет характеризуется зона рекристаллизации кристалла 1 (1.2), состав которой (U – 114 ppm, Th – 1 ppm) еще более контрастирует с реликтовой (1.1) частью, т.е. самые поздние процессы цирконообразования в породах КТ сопровождалась рафинированием ранних генераций. Естественно, что датировки T_1 – T_3 следует рассматривать как возрастные метки процессов преобразования: первоначально они приводили к обогащению цирконов U и Th, а на заключительной стадии – к их рафинированию.

Аракульская толща. Плаггиогнейсы АТ содержат несколько типов цирконов, контрастно различающихся по облику, составу и возрасту. Подобная ситуация не ординарна и не характерна для метаморфических пород, у которых обычно между различными разновидностями цирконов отчетливо проявляются “взаимные” переходы минералогических-геохимических параметров. Другими словами для цирконов плаггиогнейсов АТ характерна прерывистая (дискретная) полигенность в отличие от более распространенной непрерывной. Цирконы I типа (рис. 2–3) представлены кристаллами 1 (1.1–1.2), 3 и 10 с возрастом $T_3 = 462.9 \pm 3.4$ млн. лет с варьирующими, но в целом повышенными содержаниями U (222–1256 ppm) и Th (95–1145 ppm), “прямоугольным” (“сундучным”) обликом кристаллов и его фрагментов, обусловленных преимущественным развитием призматических граней. Несмотря на некоторые возрастные различия частей кристалла 1 (1.1–1.2), они принадлежат единому процессу цирконообразования, конечные стадии которого характеризовались обеднением среды кристаллизации. Эта тенденция более отчетливо проявлена и на кристаллах II типа с возрастом $T_2 = 438.3 \pm 6.9$ млн. лет (4, 5, 6, 7, 8.1–8.2) и содержаниями U (80–114 ppm) и Th (37–86 ppm) существенно более низкими, чем у цирконов I типа. Кроме того, кристаллы II типа выделяются изометричным обликом, обусловленным сочетанием граней призм и дипирамид, высоким идиоморфизмом с проявлениями фрагментов секториального роста. У отдельных кристаллов I и II типов заметны тонкие пленки новообразованного материала с характерными коронарными структурами (сравнить кристаллы 7 и 10 с 5), свидетельствующими о продолжении цирконообразования,

что конкретно подтверждается кристаллом III типа (9, рис. 2) с возрастом $T_1 = 402.0 \pm 6.5$ млн. лет и дипирамидальным обликом, который выделяет его среди остальных. И, наконец, к IV типу относится кристалл 2 округлого (эллипсоидного) облика с необычным для АТ возрастом $T_4 = 1267 \pm 18$ млн. лет, что позволяет говорить о древнем субстрате плаггиогнейсов АТ.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные датировки (рис. 3) отражают существенные различия между породами обеих толщ. Возраст КТ, равный 421.7 ± 3.9 млн. лет, отвечает, по-видимому, этапу плаггиогматизации, а следующие датировки (от 397 до 324 млн. лет) связаны с повторными процессами метаморфизма, твердопластичными деформациями и образованием зон бластомилонитов. Для пород АТ со специфическими мелкозернистыми структурами характерны одинаковый уровень метаморфизма с параметрами эпидот-амфиболитовой фации (580–600°C, 4.2–4.8 кбар), неоднократные проявления структурно-деформационных изменений (не менее трех этапов), отсутствие признаков повторного метаморфизма и мигматизации. Полученные датировки цирконов не противоречат подобной схеме эволюции: 462.9 ± 3.4 млн. лет – возраст плаггиогнейсов, а датировки 438.3 ± 6.9 млн. лет и 402 ± 6.5 млн. лет – фиксируют этапы структурных преобразований, сопровождаемых появлением новых и изменением предшествующих генераций цирконов. Специфическим для АТ является отсутствие более молодых датировок возраста, широко распространенных в различных породах (включая “ядерные” блоки) Ильменских гор. Вероятно, с этим связана и сохранность реликтовых цирконов с возрастом 1267 ± 18 млн. лет.

Из сопоставления цифровых данных по обеим толщам более “древней” оказывается АТ, что отличается от приведенной схемы (рис. 1), основанной большей частью на логических корреляционных представлениях. С учетом разрозненности проб обеих толщ (на 40–45 км) и их совмещения в корреляционных схемах по “тектоническим” контактам, полученные датировки даже при условии недостаточной представительности соответствующих толщ (что весьма вероятно) служат весомым основанием для пересмотра схем расчленения пород Сысертско-Ильменогорского комплекса, особенно в интервале ильменской-сайтовской серии и слагающих их толщ. Не следует также забывать, что для уверенного обоснования границ структурных подразделений разреза данных до сих пор недостаточно, а “верхи” и “низы” разрезов могут не соответствовать истинным возрастным взаимоотношениям [6]. Однако это не влияет на принципиальную оценку положения КТ и АТ в сводном разрезе СИК:

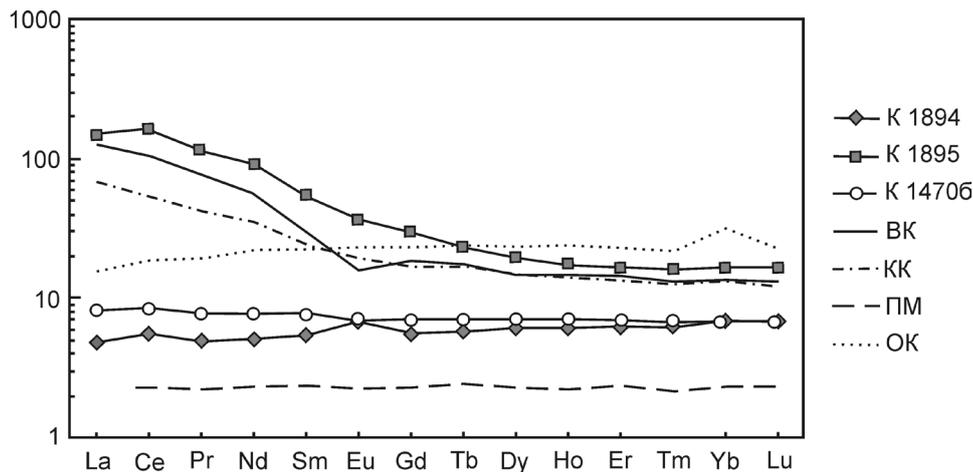


Рис. 4. Редкие земли в плагиогнейсах кыштымской (K1895), аракульской (K1894) толщ и в базальтах баймак-бурибаевской (K1470) свиты.

БК, КК, ОК – верхняя, континентальная, океаническая кора; ПМ – примитивная мантия.

обе они могут и должны рассматриваться в комплексе “обрамления” (или чехла) кристаллического фундамента (гнейсового ядра). Это предполагает существование значительного возрастного перерыва (>1.5 млрд. лет) между ними (кыштымской-аракульской и селянчинской толщами), который необходимо заполнить реальными геологическими процессами и веществом.

Поскольку наше предложение касается ильменской серии, напомним некоторые данные о возрасте пород ее основания, выделенных в ильменогорскую толщу. Во многих работах ильменская серия рассматривается как “промежуточная” между гнейсовым ядром и его обрамлением. В составе пород серии присутствуют различные плагиогнейсы, мигматиты, амфиболиты, сланцы, кварциты, мрамора с переменными РТ-условиями (от гранулитовой фации до эпидот-амфиболитовой) образования. Для ильменогорской свиты еще в 1985 г. [2] классическим U-Pb методом по объемным навескам циркона из силлиманитового гнейса и диоритов-гнейса была получена датировка 575 ± 5 млн. лет, которая позднее [5] с использованием “сортированных” кристаллов уточнена до 643 ± 46 млн. лет. Одновременно были датированы гнейсы шумихинской свиты – 576 ± 65 млн. лет, и получены более молодые датировки обеих свит – 249 до 355 млн. лет. Из сопоставления этих и вновь полученных цирконовых данных появляется возможность говорить о непрерывности разреза метаморфических пород Сысертско-Ильменогорского комплекса от 640 млн. лет (NP₃ – ильменогорская толща) через 462 млн. лет (O₂ – аракульская толща) и 420 млн. лет (S₃ – кыштымская толща) до 320–250 млн. лет (C₁–T₁; метаморфизм, бластомилониты, метасоматоз), что в целом сопоставимо и с длительностью формирования миаскит-карбонатитовой формации Ильменских гор. Такой вариант строения раз-

реза СИК ставит вопрос о возрастной “однородности” пород и ильменогорской толщи (где возможно участие более древней субстанции, подобной селянчинской), и еланчиковской, для которой вообще нет возрастных определений, и фирсовской пока “немой” толщи, которая, возможно вместе с ильменской серией будет выполнять роль “связующей” между комплексами кристаллического фундамента и его чехла.

В заключении отметим дополнительную информацию о плагиогнейсах обеих толщ, связанную с распределением в них РЗЭ (рис. 4). Для сравнения привлечены данные о составе островодужных базальтов баймак-бурибаевской серии. Отчетливо просматривается подобие спектров РЗЭ плагиогнейсов АТ и базальтов, их практически “горизонтальное” распределение. Они занимают промежуточное положение между спектрами редких земель “первичной мантии” и “океанической литосферы”, и существенно отличаются от состава плагиогнейсов КТ, имеющих несомненное сходство с “верхнекоровым” распределением, характерным для селянчинских гнейсов. Это позволяет нам присоединиться к известному выводу о том, что ассоциация плагиогнейсов (плагиосланцев), альпинотипных гипербазитов, амфиболитов и графитовых кварцитов, распространенных во всех толщах сайтовской серии, действительно достаточно обоснованно определяется как офиолитовая формация.

Работа выполнена при финансовой поддержке программ ОНЗ № 4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов А.Г., Белогуб Е.В., Ленных В.И., Рассказова А.Д. Уфимская широтная структура Урала. Мисс: УрО РАН, ИМин УрО РАН, 1992. 89с.
2. Зыков С.И., Ступникова Н.И., Краснобаев А.А., Коз-

- лов В.И., Мясникова В.Л. Свинцово-изотопный возраст пород ильменогорской свиты и гранитов Барангуловского массива южного Урала // Проблемы изотопного датирования процессов метаморфизма и метасоматоза. М.: ГЕОХИ, 1985. С. 97–99.
3. Иванов Б.Н., Баженов А.Г., Кутепова Л.А., Нишанбаев Т.Л., Кошевой Ю.Н. Новые данные о геологическом строении метаморфического субстрата Ильменских гор // Доордовикская история Урала. Т. 3. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1980. С. 47–68.
 4. Кейльман Г.А. Мигматитовые комплексы подвижных поясов. М.: Наука. 1974. 200с.
 5. Краснобаев А.А., Давыдов В.А. Возраст и происхождение ильменогорской толщи по данным цирконологии // Докл. АН. 2000. Т. 372. № 1. С. 89–94.
 6. Ленных В.И., Вализер П.М. К геологической схеме Ильменогорского комплекса // Геология и минералогия Ильменогорского комплекса: ситуация, проблемы. Миасс: Ильменский гос. заповедник УрО РАН, 2006. С. 20–27.
 7. Панков Ю.Д. Ильменогорский метаморфический комплекс // Ильменогорский комплекс магматических и метаморфических горных пород. Свердловск: УФ АН СССР, 1971. С. 61–129.
 8. Парначев В.П., Петров В.И., Кузнецов Г.П., Лукошиков В.Н., Раевский А.Н. О составе и строении позднедокембрийских отложений сысертско-Ильменогорской структуры (Южный Урал) // Докембрийские вулканогенно-осадочные комплексы Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. С. 90–105.
 9. Чесноков С.В. проблема ильменогорских генейсов // Ильменогорский комплекс магматических и метаморфических горных пород. Свердловск: УФ АН СССР, 1971. С. 23–32.
 10. Williams I.S. U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe // Applications in microanalytical techniques to understanding mineralizing processes. Reviews in Economic Geology. 1998. № 7. P. 1–35.