

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Российский государственный геологоразведочный университет  
имени Серго Орджоникидзе  
(МГРИ)

---



# ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ ТОМ I

XVI

Международной научно-практической конференции  
«Новые идеи в науках о Земле»

---

XVI

International Scientific and Practical Conference  
«NEW IDEAS IN EARTH SCIENCES»

6 - 7 апреля 2023 г. | April 6 - 7, 2023

Москва | Moscow

*Изотопная геохронология в стратиграфии докембрия. Юшин К.И\*. (ГИН РАН, МГРИ, yushin-kirill@mail.ru), Межеловская С.В, (ГИН РАН, МГРИ, mezhelsofya@gmail.com), Межеловский А.Д.(МГРИ, geocon@yandex.ru)*

## **Аннотация**

Комплексный подход к изучению зерен детритового циркона на основе геохимических и изотопно-геохронологических данных, с учетом собственного опыта, а также опыта других исследователей, позволяет решить множество задач и может успешно применяться для изучения докембрийских комплексов.

## **Ключевые слова**

Геохронология, LA-ICP-MS, детритовый циркон.

## **Теория**

Определение стратиграфической последовательности осадконакопления часто является сложной задачей, даже при хорошей обнаженности и ненарушенном залегании горных пород, а самое большое количество неизвестных в этом «уравнении» принадлежит докембрию. Это сложнодислоцированные осадочные и вулканогенно-осадочные структурно-вещественные комплексы, в различной степени метаморфизованные (от низших субфаций зеленосланцевой фации до высокотемпературных и высокобарных пород, сложенных гранулитами и эклогитами) и тесно связанные с интрузивными массивами. На территории России основная (но не исключительная) область их выхода на поверхность - кристаллические щиты: Балтийский, Алданский и Анабарский. Первый из перечисленных является стратотипическим, т.е. основой Общей стратиграфической (геохронологической) шкалы докембрия (саамий, лопий, карелий, рифей, венд).

Изучение докембрийских породных ассоциаций генерирует много труднорешаемых вопросов: что было протолитом (исходной породой), как определить первичную стратификацию пород (сланцеватость, особенно при высоких фациях метаморфизма, часто развивается не по первичной слоистости), каков механизм неоднократных процессов деформаций при тектонических активизациях, послуживший формированию сложнопостроенных разрезов (складчатость, катаклиз, опрокинутое залегание, надвиги, увеличенные мощности стратиграфических подразделений) и др.

Решение подобных вопросов заключается в комплексном изучении докембрийских метаморфических осадочных пород. Развитие техники и появление прецизионных лабораторных методов исследования не отменяет, а только дополняет стандартный подход, заключающийся в детальном описании обнажений непосредственно в полевых условиях, расшлифовке серий обнажений, отборе максимально "чистых" неизмененных сколковых проб для проведения геохимических исследований, замера трещин, отборе ориентированных образцов и шлифов и пр. Для определения нижней возрастной границы осадконакопления и источников сноса терригенного материала в настоящее время широко применяется всесторонний анализ зерен детритового циркона, о котором пойдет речь в данной работе.

Детритовый (обломочный) циркон – минерал, образованный при кристаллизации магматического расплава и попавший в состав обломочной (терригенной) горной породы в ходе эрозионных процессов. Циркон ( $ZrSiO_4$ ) является устойчивым минералом, а также источником радиоактивных изотопов и продуктов их распада, получив почетный статус минерала - геохронометра.

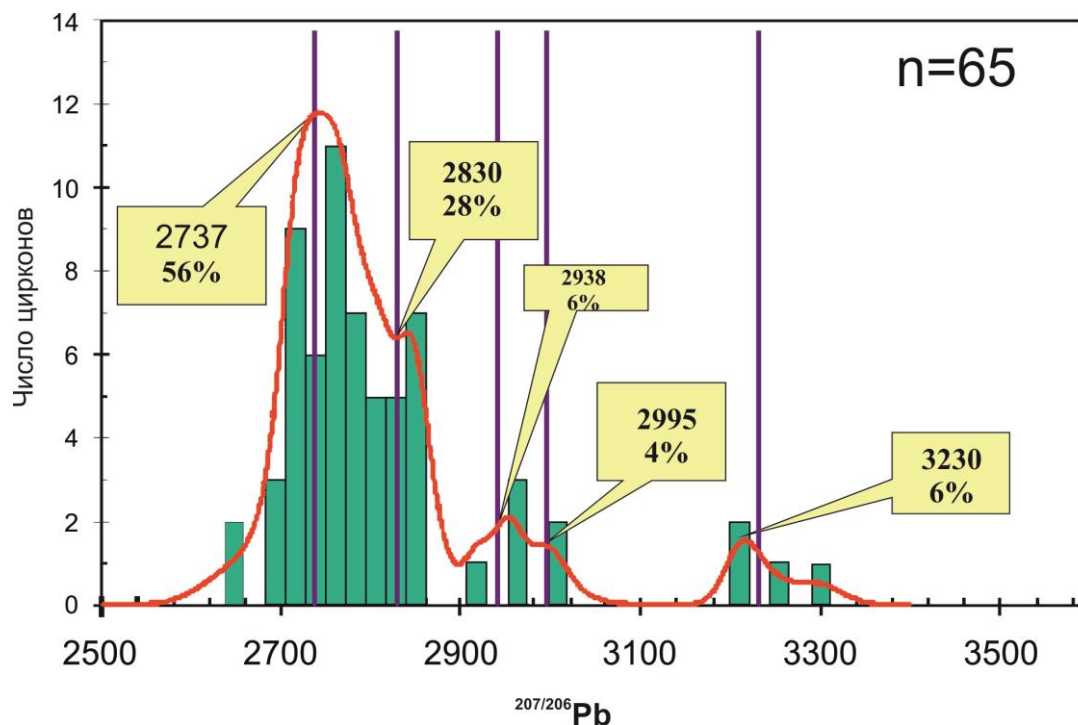
При отборе проб для изучения зерен детритового циркона стоит обратить внимание на состав породы. К примеру, в аркозовых или кварцевых разностях содержание циркона будет достаточно высоким, а в граувакковых разновидностях - значительно меньше. В связи с этим состав пород будет напрямую влиять на объем пробы, необходимый для выделения достаточного количества зерен циркона. Согласно [9], для получения достоверных результатов нужно проанализировать не менее 120 зерен, а при получении полимодального распределения, для достижения истинных результатов, необходимо увеличение анализируемой выборки. Применительно к докембрийским породам, также стоит учитывать их многократное преобразование в ходе различных процессов, что зачастую приводит к получению большого количества сильно дискордантных значений.

Перед дроблением, истиранием и выделением из отобранной пробы зерен циркона рационально провести геохимический анализ (ICP-MS) по породе с определением химического элемента – циркония (Zr), так как его содержание может помочь более точно определиться с количеством обрабатываемого материала. Исходя из опыта авторов, достаточное количество зерен циркона возможно выделить из 1 кг породы при содержании циркония не менее 200 ppm.

После дальнейшей пробоподготовки необходимо проанализировать морфологические особенности циркона и его внутреннее строение, что возможно сделать по катодолюминисцентным изображениям (CL) зерен. Внутреннее строение циркона может быть однородным или зональным. Во втором случае ядерные части зерен, как правило, являются более древними в отличие от кайм, которые могли образоваться при более поздних процессах. Подобные особенности внутреннего строения следует учитывать при проведении дальнейших аналитических исследований. Морфология зерен циркона и степень сохранности кристаллографических очертаний позволяет сделать вывод о дальности переноса в ходе седиментации, предположить предварительный состав и генезис материнских пород [4]. По катодолюминисцентным изображениям следует провести предварительную разметку для проведения изотопных исследований. Это позволит избежать получения некорректных значений, например, если лазер при измерениях попадет в трещину или на границу ядра и каймы. Для получения геохронологических данных по детритовому циркону хорошо себя зарекомендовал метод LA-ICP-MS. Первичная обработка измеренных аналитических U-Pb изотопных данных зерен детритового циркона проводится с помощью компьютерной программы GLITTER [5]; поправки на нерадиоγενный свинец рассчитываются согласно работе [1] в программе ComPbCorr [2]. Построение гистограмм и кривых плотности вероятности (КПВ) выполняются в программе ISOPLOT [8].

Интерпретация полученных аналитических данных подразумевает ряд манипуляций. 1. Расчет дискордантности (т.е. процент несоответствия истинному возрасту) для каждого измерения; используется для отбраковки зерен с нарушенной изотопной системой. Определяется по двум формулам:  $D1=100 \% \cdot [\text{возраст } (^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) / \text{возраст } (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) - 1]$ , (1);  $D2=100 \% \cdot [\text{возраст } (^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}) / \text{возраст } (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) - 1]$ . (2). Для докембрийских комплексов предпочтительнее использовать формулу №2. Значения с дискордантностью выше 10% следует исключить из выборки. 2. Графическое отображение результатов. По отобранным значениям ( $D < 10\%$ ) с использованием доступных программных продуктов строится гистограмма распределения возрастов с графиком плотности вероятности (PD), на котором будут отображены основные возрастные пики (рис. 1). Величину ошибки определения возраста предпочтительнее

выбирать на уровне  $2\sigma$ . При анализе основных возрастных пиков можно реконструировать питающие провинции при накоплении осадков и установить, откуда шел снос обломочного материала. Самый молодой возраст покажет нижнюю возрастную границу осадконакопления изучаемой толщи. Основные популяции (пики) – возраст главных питающих провинций.



**Рисунок 1.** Гистограмма распределения возрастов детритовых цирконов с графиком плотности вероятности (PD) и рассчитанными средневзвешенными возрастными (пиками) для основных популяций цирконов (5 групп) с учетом их процентного вклада. Анализируемая выборка представлена для кварцитов окуневской свиты Шомбозерского синклиория.

Построение графика с конкордией и дискордией покажет относительно конкордантный возраст, а также зерна с нарушенной изотопной системой, лежащие ниже линии конкордии. Верхнее пересечение дискордии с конкордией укажет на время события, которое привело к нарушению изотопной системы в цирконе. Разброс возрастов позволяет определить по самой молодой популяции нижний предел осадконакопления, что особенно важно для докембрийских осадков. 3. Th-U отношение, позволяющее отличить магматические (материнские) зерна циркона от сформировавшихся в результате метаморфизма. Значения в интервале 0.1-1 характерны для магматического циркона. Более низкие значения - для метаморфических цирконов [10], что следует учитывать при определении возраста исследуемой толщи и восстановлении источников сноса. Значения  $\text{Th}/\text{U} > 1.5$  типично для мафических пород [7]. 4. Содержание РЗЭ в цирконе позволяет отличить циркон корового и ювенильного происхождения, а также отличить неизменный магматический циркон от гидротермального [6]. Характер распределения микроэлементов в цирконе возможно использовать для реконструкции состава материнской породы [3], данное направление в настоящее время активно развивается. Для статистического сравнения выявленных совокупностей возраста детритовых цирконов из разных проб, можно построить кумулятивные зависимости возраста цирконов для каждой из них и проанализировать с помощью теста Колмогорова-Смирнова, что позволит определить, подчиняются ли два эмпирических распределения одному закону.

## Выводы

Применение данного подхода при изучении зерен детритового циркона в докембрийских породах позволяет решить множество задач: судить о дальности переноса материала, предположить предварительный состав и генезис материнских пород, определить нижнюю возрастную границу осадконакопления и многое другое.

## Библиография

1. Andersen T., 2002. Correction of Common Lead in U-Pb Analyses That Do Not Report 204Pb. *Chemical Geology* 192 (1–2), 59–79. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(02\)00195-X](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00195-X).
2. Andersen T., ComPbCorr – Software for Common Lead Correction of U-Th-Pb Analyses That Do Not Report 204Pb. In: P.J. Sylvester (Ed.), *Laser Ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current Practices and Outstanding Issues*. Mineralogical Association of Canada Short Course Series. Vol. 40. 2008. Vancouver, p. 312–314.
3. Belousova E.A., Griffin W.L. et al. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type // *Contrib. Mineral. Petrol.* 2002. V. 143. P. 602–622.
4. Corfu F., Hanchar J. M., Hoskin P. W. O. and Kinny, P. D. (2003) Atlas of zircon textures. In *Zircon, Rev. Mineral. Geochem.*, vol. 53 (eds. J. M. Hanchar and P. W. O. Hoskin). Mineralogical Society of America/Geochemical Society, pp. 469–500.
5. Griffin W.L., Powell W.J., Pearson N.J., O'Reilly S.Y., 2008. GLITTER: Data Reduction Software for Laser Ablation ICPMS. In: P.J. Sylvester (Ed.), *Laser Ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current Practices and Outstanding Issues*. Mineralogical Association of Canada Short Course Series. Vol. 40. Vancouver, p. 308–311.
6. Grimes C.B., John B.E., Kelemen P.B. et al. Trace element chemistry of zircons from oceanic crust: A method for distinguishing detrital zircon provenance // *Geology*. 2007. V. 35. P. 643–646.
7. Linnemann U., Ouzegane K., Drareni A., Hofmann M., Becker S., Gärtner A., Sagawe A., 2011. Sands of West Gondwana: An Archive of Secular Magmatism and Plate Interactions – A Case Study from the Cambro-Ordovician Section of the Tassili Ouan Ahaggar (Algerian Sahara) Using U-Pb- LA-ICP-MS Detrital Zircon Ages. *Lithos* 123 (1–4), 188– 203. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2011.01.010>.
8. Ludwig K.R., 2012. ISOPLOT 3.75. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. User's Manual. Berkeley Geochronology Center Special Publication 5, 75 p.
9. Pullen, A., Ibanez-Mejia, M., Gehrels, G. E., Ibanez-Mejia, J. C., Pecha, M., 2014. What happens when n= 1000? Creating large-n geochronological datasets with LA-ICP-MS for geologic investigations. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 29 (6), 971–980.
10. Rubatto D., 2017. Zircon: The Metamorphic Mineral. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 83 (1), 261–295. <https://doi.org/10.2138/rmg.2017.83.9>.