

К. А. Колобова

Институт археологии и этнографии СО РАН
Новосибирск, Россия
E-mail: kolobovak@yandex.ru

Анализ соответствий в исследованиях комплексов каменного века

В статье рассматривается метод анализа соответствий (Correspondence Analysis, CA) как инструмент для атрибуции и определения характера вариабельности многослойных палеолитических комплексов. Используемый в массе археологических работ подход, основанный на подсчете процентных соотношений категорий артефактов, нивелирует различия между коллекциями разного объема и не учитывает редкие типы орудий, что может приводить к ошибочным выводам о принадлежности индустрий к разным технокомплексам. В качестве альтернативы предлагается использование CA, который оперирует абсолютными частотами и позволяет одновременно анализировать распределение как археологических комплексов, так и типологических категорий в многомерном пространстве. Подробно описан алгоритм реализации метода в бесплатной программе PAST (PAleaeontological STatistics): от подготовки матрицы исходных данных до интерпретации диаграмм рассеяния и построения 95 % доверительного эллипса для проверки принадлежности комплексов к одной генеральной совокупности. Для демонстрации возможностей метода в качестве учебного примера использованы 35 орудийных коллекций грота Оби-Рахмат (Западная часть Центральной Азии). Продемонстрированный CA позволяет не только подтвердить принадлежность всех комплексов к единой традиции, но и выявить внутреннюю вариабельность, связанную с хронологической и функциональной специализацией памятника. Обсуждаются ограничения метода и необходимость верификации результатов. Сделан вывод, что анализ соответствий является эффективным и доступным инструментом для объективной классификации каменных индустрий, который может быть рекомендован археологам, не имеющим специализированной статистической подготовки.

Ключевые слова: анализ соответствий, Correspondence Analysis, PAST, мультивариантная статистика, атрибуция археологических комплексов, многослойные палеолитические памятники, каменные индустрии.

K. A. Kolobova

Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS
Novosibirsk, Russia
E-mail: kolobovak@yandex.ru

Correspondence Analysis in Stone Age Artifact Complexes Studies

This author discusses the correspondence analysis (CA) as a tool for the attribution and variability assessment of multilayered Paleolithic complexes. The traditional approach based on calculating percentage ratios of artifact categories levels differences between assemblages of various sizes and does not account for rare tool types, which can lead to erroneous conclusions about the attribution of assemblages to particular technocomplexes. As an alternative, CA is proposed, which operates with absolute frequencies and allows simultaneous analysis of the distribution of both archaeological assemblages and typological categories in multidimensional space. The algorithm for implementing the method in the free software PAST is described in detail: from preparing a data matrix to interpreting scatter plots and constructing a 95 % confidence ellipse to test the correlation of assemblages with a single population. To demonstrate the capabilities of the method, 35 tool assemblages from the Obi-Rahmat grotto (Western Central Asia) are used as a teaching example. It is shown that CA allows not only confirming the attribution of all assemblages to a single industrial tradition but also identifying internal variability associated with the chronological and functional specialization of the site. Limitations of the method and the need for verification of results are discussed. It is concluded that correspondence analysis is an effective and accessible tool for objective classification of lithic industries, which can be recommended to archaeologists without specialized statistical training.

Keywords: correspondence analysis, PAST, multivariate statistics, archaeological assemblage attribution, multilayered Paleolithic sites, lithic industries, methodology.

Введение

Сравнительный анализ массового каменного инвентаря из разных археологических памятников традиционно опирается на типологические классификации и частотные распределения основных категорий орудий. При переходе от двух-трех сопоставляемых комплексов к выборкам, включающим десятки слоев или стоянок, визуальный анализ таблиц становится малоэффективным.

Обычно археологи описывают каменные индустрии, включая многослойные, используя простой подсчет процентов доминирующих категорий инвентаря и часто обозначая данный арифметический подход как «статистический метод». При исследовании нескольких комплексов (двух-трех) такой подход еще может быть информативен. Однако при увеличении числа сравниваемых индустрий или ассамблежей до десяти и более, а также при возрастании количества типологических или технологических признаков процентные таблицы становятся практически невоспринимаемыми. Исследователь в этом случае обычно сравнивает лишь самые многочисленные категории, не принимая во внимание малочисленные, в результате чего объем информации, которую можно было получить из исходных данных, неминуемо сокращается. Более того, проценты фиксируют только одномерное распределение каждого типа в отдельности, но не позволяют оценить ковариацию признаков. Без учета взаимозависимостей между типами орудий любое процентное сравнение остается неполным, а выводы о сходстве или различии комплексов являются исключительно субъективными. Таким образом, исследователь сталкивается с дилеммой: чем больше данных собрано, тем труднее их проанализировать в рамках традиционного подхода, следовательно, появляется необходимость в методах, специально предназначенных для сжатия многомерной информации без существенных потерь.

В этой методологической ситуации применение анализа соответствий (Correspondence Analysis, CA) является обоснованным, особенно в ситуации, когда большинство археологов не знакомо со статистическими методами.

Целью настоящей статьи является объяснение логики и ограничений анализа соответствий с использованием опубликованного в научной литературе примера.

Материалы и методы

Для выявления структуры многомерных археологических данных, атрибуции орудийных комплексов и оценки их вариабельности в настоящем исследовании применен анализ соответствий (Correspondence Analysis, CA) [Greenacre, 2010; Ringrose, 1992].

Этот метод, разработан Ж.-П. Бензекри и его школой [Greenacre 2010] и специально адаптирован для анализа таблиц сопряженности. В отличие от мето-

дов, предполагающих нормальное распределение признаков, СА не налагает практически никаких ограничений на распределение данных и даже обрабатывает нулевые ячейки. Метод основан на измерении расстояния χ^2 , когда евклидова дистанция между наблюдениями делится на корень из среднего по выборке. Это позволяет визуализировать в низкоразмерном пространстве как сходства и отличия между стоянками/слоями, так и между типами орудий/нуклеусов [Greenacre 2010].

В отличие от методов главных компонент (PCA), который требует использования непрерывных количественных данных, СА оперирует абсолютными частотами (counts), т.е. численностями артефактов разных категорий в каждом анализируемом комплексе [Greenacre, 2010; Ringrose, 1992].

Этот момент является преимуществом метода для анализа археологических данных, поскольку подсчет процентов нивелирует различия между коллекциями с разным количеством артефактов. Коллекция со 100 артефактами и коллекция с 5 артефактами при подсчете процентов будут рассматриваться и анализироваться как одинаковые, хотя структура индустрий различна. СА сохраняет информацию об исходных количествах, что позволяет корректно сравнивать разноразмерные комплексы.

Еще одним преимуществом СА является возможность визуализации на одном графике как анализируемых комплексов, так и их признаков. Это позволяет не только классифицировать комплексы, но и содержательно интерпретировать факторы, обуславливающие их кластеризацию. Например, какие именно категории орудий вносят наибольший вклад в распределение выборок [Ringrose, 1992; Колобова и др., 2024].

СА строит многомерное пространство таким образом, чтобы максимизировать меру разброса анализируемых комплексов и их признаков относительно друг друга. Получаемая диаграмма рассеяния интерпретируется по близости точек. На графике близость точек (комплексов и признаков) свидетельствует о сходстве в структуре комплексов. Удаленность интерпретируется симметрично [Greenacre, 2010].

Реализация в программе PAST

Программа PAST (PAleontological STatistics, версия 4.0 и выше) применяется ввиду возможности ее бесплатного использования и уже широкого распространения в археологических исследованиях [Hammer et al., 2001].

Последовательность действий включает следующие шаги. В табличном редакторе создается файл, где строки соответствуют выборкам или анализируемым комплексам, а столбцы их признакам. В ячейках должно быть проставлено количество орудий, нуклеусов, артефактов с зафиксированными технологическими признаками. Не используются метрические измерения

артефактов, проценты и доли археологических комплексов или наборов артефактов, подсчитанные на основе исходных данных. Нельзя объединять в одной ячейке данные из разных категорий [Hammer, Harper, Ryan, 2001].

Из дальнейшего анализа рекомендуется исключать переменные, которые не несут культурно-маркирующей нагрузки, либо категории, представленные единичными экземплярами, поскольку они могут оказывать нежелательное влияние на кластеризацию анализируемых объектов и создавать ложные кластеры. Также желательно исключать наиболее малочисленные комплексы (менее 5–10 артефактов в выборке), т.к. их статистическая надежность низка.

Файл открывается в PAST через меню File > Open. В таблице выделяются все столбцы с количественными данными, группирующие столбцы. Далее открывается: Multivariate – Correspondence Analysis (CA) и программа строит двумерную диаграмму рассеяния.

На графике по умолчанию отображаются оси 1 и 2, которые описывают подавляющую часть вариальности выборок, причем на первую ось обычно приходится от 70 до 90 %. Эти значения вариальности рекомендуется указывать в результатах анализа. На графике одновременно отображаются точки-комплексы (rows); точки-признаки (columns). Близость комплекса к определенному признаку означает, что в данном комплексе этот признак наиболее характерен по сравнению с другими комплексами. Группировка нескольких комплексов в одном секторе графика свидетельствует об их сходстве по используемым признакам.

Для проверки устойчивости полученных кластеров строится 95 % доверительный эллипс (опция Show confidence ellipse в окне результатов). Если все анализируемые комплексы попадают внутрь единого эллипса, это статистически подтверждает их принадлежность

к одной генеральной совокупности, в археологическом контексте, к одному технокомплексу или индустриальному варианту [Колобова и др., 2024]. Если же эллипс распадается или комплексы выходят за его пределы, это указывает на присутствие сильных различий.

Примеры применения анализа соответствий в археологических исследованиях

Анализ соответствий давно и успешно применяется в мировой археологической практике для решения широкого круга задач: от атрибуции каменных индустрий до анализа керамических комплексов [Колобова и др., 2024; Козликин, 2025].

Классической методологической работой, обосновывающей применение СА в археологии, является статья Т. Ringrose [1992] «Bootstrapping and correspondence analysis in archaeology». Автор не только описывает возможности метода для графического отображения частотных данных в виде таблиц сопряженности, но и предлагает процедуру бутстрепа (bootstrap) для оценки статистической значимости распределения точек на диаграмме рассеяния. Эта методика позволяет определить, насколько устойчива полученная кластеризация и не является ли она следствием случайных колебаний в исходных данных.

В качестве примера демонстрируется анализ соответствий для атрибуции 35 орудийных среднепалеолитических комплексов грота Оби-Рахмат (Западная часть Центральной Азии, 85–40 тыс. л.н.) [Кривошапкин, 2012]. На двумерном графике показаны орудийные коллекции, распределенные по плоскости в зависимости от категорий орудий в их коллекциях (см. рисунок). Метод позволил подтвердить принадлежность всех коллекций к единому оби-рахматскому

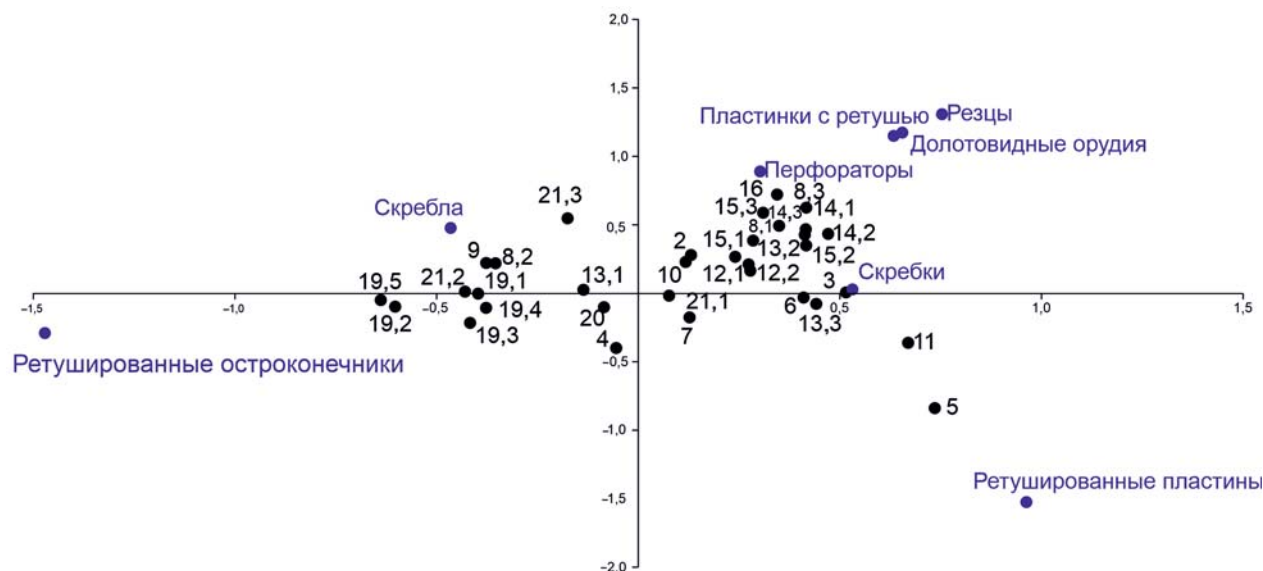


График анализа соответствий орудийных комплексов грота Оби-Рахмат (по: [Колобова и др., 2024]).

технокомплексу; определить хронологическую вариабельность: нижние слои (21.3–19.1, а также 13.1, 9, 8.2 и 4), тяготеющие к категориям «ретушированные остроконечники» и «скребла», интерпретированы как охотничий лагерь; верхние слои (с 15.3 и выше), ассоциирующиеся со «скребками», «ретушированными пластинами», «резцами» и «долотовидными орудиями», как стоянка с комплексной деятельностью [Колобова и др., 2024; Кривошапкин, 2012]. То есть метод позволил выявить внутреннюю вариабельность комплексов, которая имеет отчетливую хронологическую направленность активности в направлении обработки твердых и мягких органических материалов. Это изменение было интерпретировано как смена функциональной принадлежности раскопанного участка памятника: от кратковременного охотничьего лагеря, зафиксированного в нижних слоях к стоянке с комплексной деятельностью и, вероятно, более длительными периодами обитания, определенной в верхних слоях.

Данный пример демонстрирует эффективность СА для атрибуции и определения вариабельности многослойных комплексов. Метод позволяет проводить обоснованную и содержательную интерпретацию зафиксированных распределений.

СА не следует использовать изолированно. В исследовании орудийных коллекций грота Оби-Рахмат он применялся совместно с неограниченной сериацией (для первичной оценки наличия/отсутствия категорий орудий) и анализом главных координат с хордовой метрикой (для классификации разноразмерных выборок). Совпадение результатов, полученных разными статистическими методами, значительно повышает надежность выводов.

Таким образом, анализ соответствий является не просто инструментом классификации, но и средством содержательной интерпретации археологических данных. Он позволяет не только ответить на вопрос «принадлежат ли комплексы к одной индустрии?», но и выявить факторы, обуславливающие их вариабельность (хронология, функциональная специализация памятника или доступность сырья). В этом отношении СА органично вписывается в современную тенденцию превращения археологии каменного века в дисциплину, где каждый вывод требует статистического обоснования.

Финансирование

Исследование выполнено по проекту НИР ИАЭТ СО РАН № FWZG-2025-0007 «Применение цифровых технологий при анализе археологических источников и реконструкции истории древних сообществ».

Список литературы

Козликин М. Б. Средний палеолит Алтая: культурная динамика и природная среда: автореф. дис. ... д-ра ист. наук. – Новосибирск, 2025. – 46 с.

Колобова К. А., Харевич А. В., Мухтаров Г. А., Кривошапкин А. И. Атрибуция и вариабельность многослойных палеолитических комплексов: пример орудийных индустрий грота Оби-Рахмат // *Camera Praehistorica*. – 2024. – № 2 (13). – С. 24–33.

Кривошапкин А. И. Оби-Рахматский вариант перехода от среднего к верхнему палеолиту в Центральной Азии: дис. ... д-ра ист. наук. – Новосибирск, 2012. – 259 с.

Greenacre M. Biplots in practice. Fundación BBVA. – 2010. – 237 p.

Hammer Ø., Harper D., Ryan P. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // *Palaeontologia Electronica*. – 2001. – Vol. 4, N 1. – 9 p. URL: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm (дата обращения: 08.05.2025).

Ringrose T. J. Bootstrapping and correspondence analysis in archaeology // *J. of Archaeol. Sci.* – 1992. – Vol. 19, N 6. – P. 615–629. – doi:10.1016/0305-4403(92)90032-X

References

Greenacre M. Biplots in practice. Fundación BBVA, 2010. 237 p.

Hammer Ø., Harper D., Ryan P. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 2001. Vol. 4, No. 1. 9 p. URL: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm (Accessed: 08.05.2025).

Kozlikin M. B. Middle Paleolithic of Altai: cultural dynamics and natural environment: doct. sc. (history) dissertation abstract. Novosibirsk, 2025. – 46 p.

Kolobova K. A., Kharevich A. V., Muhtarov G. A., Krivoschapkin A. I. Attribution and variability of multilayered paleolithic complexes: the case of the Obi-Rahmat tool kits. *Camera Praehistorica*, 2024. Vol. 2 (13). P. 24–33. (In Russ.).

Krivoschapkin A. I. Obirakhmatskii variant perekhoda ot srednego k verkhnemu paleolitu: doct. sc. (history) dissertation abstract. Novosibirsk, 2012. 259 p. (In Russ.).

Ringrose T. J. Bootstrapping and correspondence analysis in archaeology. *J. of Archaeol. Sci.*, 1992. Vol. 19, No. 6. P. 615–629. doi:10.1016/0305-4403(92)90032-X

Колобова К. А. <https://orcid.org/0000-0002-5757-3251>

Дата сдачи рукописи: 01.06.2026 г.