

## **Возможности методов многомерной статистики для интерпретации данных портативного рентгенофлуоресцентного анализа керамики: по материалам среднего неолита Байкало-Енисейской Сибири**

И. М. Бердников, И. С. Шегутов, Н. Б. Соколова\*

*Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия*

**Аннотация.** Представлены результаты портативного рентгенофлуоресцентного анализа (ПРФА) керамики среднего неолита (53 сосуда) Байкало-Енисейской Сибири из раскопок местонахождений Усть-Белая, Деревня Мартынова, Индон, Поповский Луг и стоянка Генералова. Показано, что наилучшие возможности для интерпретации данных ПРФА имеют методы многомерного анализа – метод главных компонент, *k*-средних и иерархической кластеризации. В результате использования данных методов для каждого местонахождения выделены группы сосудов, которые могли изготавливаться разными коллективами гончаров. Сделан вывод, что степень эффективности методов многомерного анализа зависит от разных факторов, среди которых главным является доступность исходного сырья.

**Ключевые слова:** Байкало-Енисейская Сибирь, средний неолит, усть-бельская керамика, посольская керамика, портативный рентгенофлуоресцентный анализ, методы многомерной статистики.

**Для цитирования:** Бердников И. М., Шегутов И. С., Соколова Н. Б. Возможности методов многомерной статистики для интерпретации данных портативного рентгенофлуоресцентного анализа керамики: по материалам среднего неолита Байкало-Енисейской Сибири // Известия Иркутского государственного университета. Серия Геоархеология. Этнология. Антропология. 2025. Т. 51. С. 33–48. <https://doi.org/10.26516/2227-2380.2025.51.33>

## **Potential of Multivariate Statistical Methods for Interpreting Portable X-ray Fluorescence Analysis Data from Ceramics: Based on Middle Neolithic Assemblages of the Baikal-Yenisei Siberia**

I. M. Berdnikov, I. S. Shegutov, N. B. Sokolova\*

*Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation*

**Abstract.** The results of portable X-ray fluorescence analysis (pXRF) of Middle Neolithic ceramics (53 vessels) of Baikal-Yenisei Siberia from excavations at the Ust-Belaya, Derevnya Martynova, Indon, Popovskii Lug, and Generalov sites are presented. It is established that multivariate statistical methods, particularly principal component analysis and cluster analysis, offer the best opportunities for interpreting pXRF data. These methods reduce data dimensionality and more clearly identify groups of vessels with analogous properties, even with similar geochemical characteristics of the raw materials and moulding compounds. The degree of their effectiveness depends on different factors and varies in each specific case. pXRF demonstrated the best potential for differentiating vessels of the same type and potentially identifying the number of individual group of potters using the Posolskaya ceramics from the Generalov site as an example. Since there are no clay deposits suitable for pottery in the immediate vicinity of the site, all the vessels were likely made elsewhere, and each group of hunter-gatherers who periodically visited this site had their own sources of raw materials. No such clear differentiation is observed in the materials from the Ust-Belaya and Derevnya Martynova sites, although multivariate analysis methods have revealed several groups of vessels that could have belonged to different group of potters. We believe this situation is due to the availability of clay raw materials suitable for pottery in the Angara River valley, where Quaternary loams are widespread on elevated surfaces, and numerous manifestations of eluvial clays and loams developed on the weathering crusts of various early deposits are also recorded. This means that the hunter-gatherers who inhabited these territories during the Neolithic had no need to specifically search for raw materials, and different group of potters could exploit the same sources within the area they occupied over a period of time. This is clearly demonstrated by the collection of Ust-Belaya ceramics from the Derevnya Martynova site, where vessels of quite different appearance exhibit similar raw material and moulding compounds. Clearly, a larger sample size is required to achieve a higher resolution in differentiating ceramics from such archaeological sites.

**Keywords:** Baikal-Yenisei Siberia, Middle Neolithic, Ust-Belaya ceramics, Posolskaya ceramics, portable X-ray fluorescence analysis, multivariate statistical methods.

**For citation:** Berdnikov I. M., Shegutov I. S., Sokolova N. B. Potential of Multivariate Statistical Methods for Interpreting Portable X-ray Fluorescence Analysis Data from Ceramics: Based on Middle Neolithic Assemblages of the Baikal-Yenisei Siberia. *Bulletin of the Irkutsk State University. Geoarchaeology, Ethnology, and Anthropology Series*. 2025, Vol. 51, pp. 33–48. <https://doi.org/10.26516/2227-2380.2025.51.33> (In Russ.)

\* Полные сведения об авторах см. на последней странице статьи.  
See the last page of the article for full authors information.

## Введение

Портативный рентгенофлуоресцентный анализ (ПРФА) в современной археологии с каждым годом становится все более популярным методом исследований химического состава артефактов, так как является наиболее доступным способом обрабатывать большие по объему выборки без значительного ущерба коллекциям [Handheld XRF ... , 2012; Бердников, 2025]. Одним из перспективных в ПРФА, но пока слабо разработанных является направление по изучению керамики (первого искусственного материала, созданного человеком), целью которого является получение информации о химическом составе исходного сырья и формовочных масс для выявления особенностей стратегий адаптаций разных человеческих популяций, их расселения и взаимодействия.

Несмотря на некоторые ограничения ПРФА в исследованиях керамики [подробнее см.: Hunt, Speakman, 2015; Holmqvist, 2016], на настоящий момент достаточно успешных исследований в этой области [напр.: Determining ... , 2018; Accessibility ... , 2025], и при соблюдении определенных процедур и выборе правильного алгоритма, при помощи портативного прибора можно получать довольно корректные результаты. Целью настоящего исследования является демонстрация возможностей ПРФА и методов многомерной статистики при обработке его данных для изучения керамики неолитических охотников-собирателей на примере материалов Приангарья и Верхней Лены.

## Материалы и методы

Выборку составили 53 образца археологической керамики (фрагментов сосудов) с 5 местонахождений Приангарья и Верхней Лены (рис. 1, табл.). В их числе Усть-Белая (18 фр.), Индон (1 фр.), Поповский Луг (1 фр.), Деревня Мартынова (20 фр.), стоянка Генералова (13 фр.) [Зубков, 1982; Когай, Бердников, 2013; Стоянка ... , 2014; Хронология ... , 2020; Уланов, 2022; Технологические ... , 2022; Абрашина, Уланов, Бердников, 2021]. Все они ассоциируются со средним неолитом и принадлежат двум типам – усть-бельскому (38 фр.) и посольскому (15 фр.), которые датируются периодом ~6,7–6,3 тыс. кал. л. н. [Хронология ... , 2020]. Материалы хранятся в фондах НИЦ «Байкальский регион» Иркутского государственного университета.

Результаты ПРФА этих образцов в предварительном виде ранее были представлены в ряде публикаций [Соколова, Шегутов, Бердников, 2024; Бердников, 2025]. В них, в частности, доказывался потенциал ПРФА для дифференциации керамики с разных территорий, а данные обрабатывались методами двумерного анализа с использованием различных сочетаний отношений традиционных петрохимических модулей (АМ, ГМ) и таких элементов, как Са, Rb, Sr и Ва. В масштабе региона они показали неплохой потенциал, однако для выявления групп сосудов со схожим химическим составом исходного сырья и формовочных масс на уровне археологического объекта данные методы имеют ограниченные возможности.

Для решения этой задачи в настоящем исследовании используется тот же набор данных ПРФА, который обрабатывается при помощи многомерного статистического анализа: метода главных компонент (МГК) и методов кластерного анализа – иерархического (ИКА) и алгоритма k-средних. Методика анализа последовательно включает:



Рис. 1. Карта Байкало-Енисейской Сибири с указанием расположения археологических объектов  
Fig. 1. Map of Baikal-Yenisei Siberia showing the location of archaeological sites

Краткая характеристика образцов  
Brief characteristics of the samples

Таблица  
Table

Местонахождение	Год раскопок	Шифр образцов для ПРФА	Кол-во по типам керамики (усть-бельская/посольская)
Усть-Белая, пункт 1*	1957, 1959, 1961–1964, 1966, 1969, 2019	UB1	14/2
Усть-Белая, пункт 2	2017, 2018	UB2	2/0
Индон	1983	IN	1/0
Поповский Луг	1973	PL	1/0
Деревня Мартынова	2012	DM	20/0
Стоянка Генералова	2013, 2014	G	0/13
Всего			38/15

\* Условные пункты одного местонахождения: Усть-Белая 1 – участок на 8–10-метровой террасовидной поверхности, где велись основные работы начиная с конца 1920-х гг.; Усть-Белая 2 – участок на периодически затопляемой средней пойме, раскопки которого ведутся с 2017 г.

- 1) исчерпывающий поиск комбинаций элементов, обеспечивающих наилучшие возможности для дифференциации сосудов;
- 2) оценку различных комбинаций в сравнении с морфологическими и декоративными особенностями сосудов и выбор наилучшего сочетания элементов для геохимической дискриминации;
- 3) выявление для коллекций каждого местонахождения кластеров, внутри которых сосуды обладают сходством как по химическому составу, так и по морфологическим и декоративным характеристикам.

## Результаты

В первую очередь при помощи метода главных компонент и канонического дискриминантного анализа (КДА) проведена общая оценка геохимических характеристик керамики с разных местонахождений с использованием комбинации элементов Al, Si, K, Ca, Ti, Fe, Rb, Sr, Y, Zr (рис. 2). В результате установлено, что в целом коллекции имеют определенные отличия по химическому составу образцов и позиционируются в определенных областях на диаграммах, за исключением сосуда с местонахождения Поповский Луг, который близок керамике Усть-Белой. Дальнейший анализ проводился при помощи методов главных компонент и кластеризации.

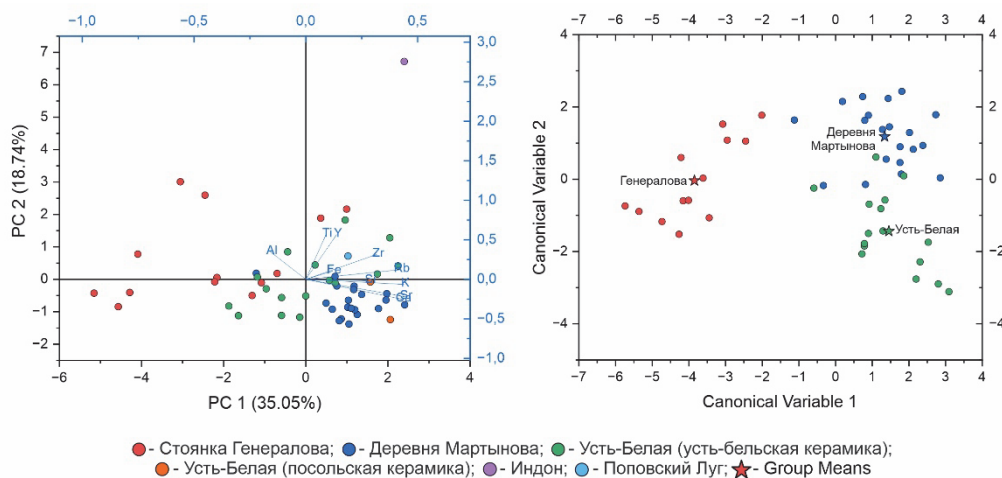


Рис. 2. Диаграммы по методам главных компонент и канонического дискриминантного анализа для керамики местонахождений Усть-Белая, Деревня Мартынова, Индон, Поповский Луг, стоянка Генералова

Fig. 2. Principal component analysis and canonical discriminant analysis plots for ceramics from the Ust-Belaya, Derevnya Martynova, Indon, Popovskii Lug, and Generalov sites

**Усть-Белая, Индон, Поповский Луг (рис. 3, 4).** Для анализа данной коллекции выбрано сочетание с элементами Al, Si, K, Ca, Ti, Fe, Rb, Sr, Y, Zr. На графиках МГК с использованием первых трех главных компонент, по первому впечатлению, не выделяется крупных групп, хотя некоторые образцы по химическому составу очень близки, как, например UB2\_1–UB1\_15, UB1\_13–UB1\_14, UB1\_1–UB1\_11–UB1\_6–UB1\_8. Более четкую картину показывают графики, построенные по методу k-средних и ИКА, которые позволяют выделить несколько кластеров. В их числе два довольно крупных, которые включают сосуды с некоторыми отличиями в декоре.

В первый кластер входят шесть сосудов преимущественно закрытой формы, декорированных исключительно горизонтальными линиями, выполненными в технике отступания. В четырех случаях для их нанесения использовался инструмент с зубчатым рабочим краем, в двух – с гладким. В орнаменте одного сосуда (UB\_2) линии «отступающей лопатки» чередуются с рядами отдельно поставленных каплевидных наколов. Судя по имеющимся в нашем распоряжении

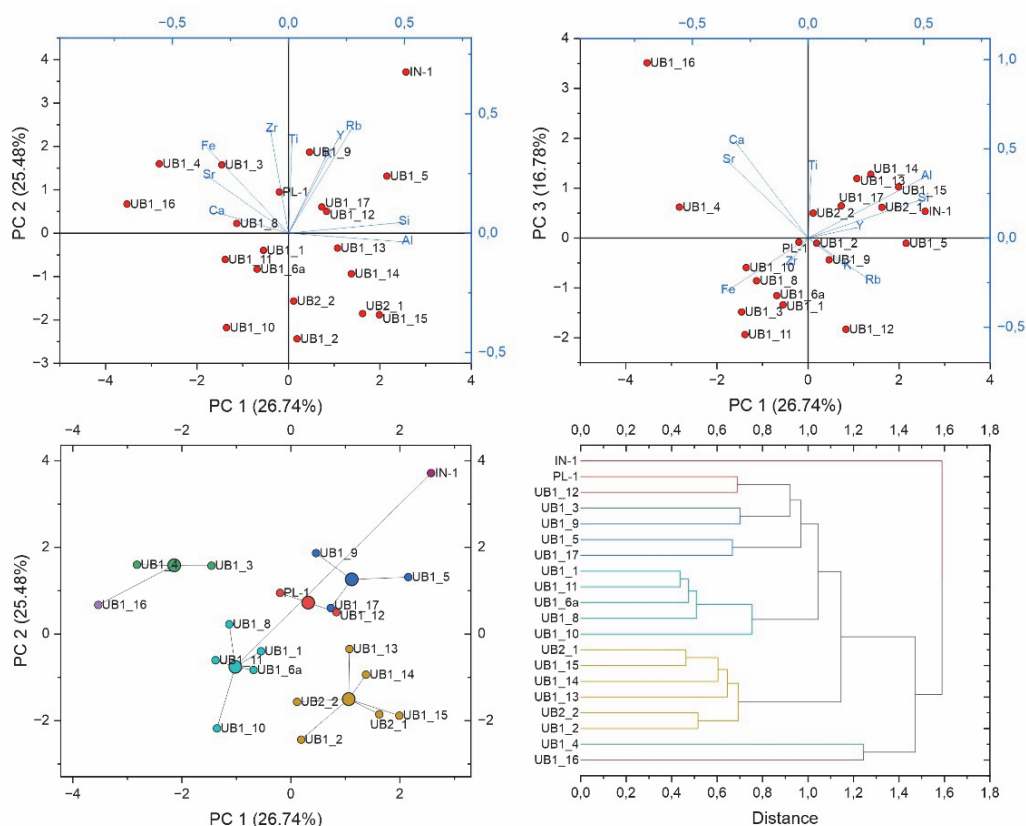


Рис. 3. Диаграммы по методам главных компонент, k-средних и иерархической кластеризации для коллекции керамики местонахождений Усть-Белая (UB), Индон (IN) и Поповский Луг (PL)

Fig. 3. Principal component analysis, k-means, and hierarchical clustering plots for the ceramics collection from the Ust-Belaya (UB), Indon (IN), and Popovskii Lug (PL) sites

фрагментам, у некоторых сосудов орнаментирована почти вся внешняя поверхность (для остальных данных недостаточно, но это тоже вполне вероятно). Все емкости довольно крупные, массивные, а в декорировании прослеживаются общие принципы, среди которых главным является использование приема отступа и горизонтальных мотивов.

Второй кластер составляют пять сосудов открытой формы, которые отличаются довольно тонкими стенками. Наиболее близки по декору два сосуда (UB1\_1, UB1\_10), орнаментированные горизонтальными рядами отдельно поставленных наколов, которые в одном случае выполнены зубчатым инструментом, а в другом имеют скобообразную форму (возможно, в качестве инструмента использовался эпифиз мелкой трубчатой кости). Еще два сосуда (UB1\_6, UB1\_8) объединяет использование в орнаменте зигзагообразных мотивов. На одном из них они вертикальные, на другом – горизонтальные. Последний сосуд (UB1\_11), украшенный плотными горизонтальными линиями «отступающей лопатки» с зубчатым рабочим краем, имеет свои особенности, однако стенки у него тонкие, а венчик слегка утолщен и декорирован так же, как у сосудов UB1\_1 и UB1\_10.





Рис. 4. Керамические сосуды местонахождений Усть-Белая (UB), Индон (IN) и Поповский Луг (PL)  
 Fig. 4. Ceramic vessels from the Ust-Belaya (UB), Indon (IN) and Popovskii Lug (PL) sites

По результатам кластерного анализа в обоих вариантах установлено серьезное отличие сосуда с местонахождения Индон от всей коллекции. Он выделяется на ее фоне не только особенностями химического состава, но и орнаментом, который представляет собой чередование горизонтальных мотивов – прямых (по три линии) и зигзагообразных (по одной). Выделяется также образец UB1\_16, принадлежащий одному из посольских сосудов.

Остальные усть-бельские сосуды по-разному группируются на кластерных диаграммах. Например, на графике по методу k-средних наблюдается сходство состава образцов UB1\_3 и UB1\_4, что в целом согласуется с близостью их орнамента, который состоит из горизонтальных линий отдельно поставленных наколов. Венчики их также украшены аналогично. При этом на дендрограмме они не группируются: образец UB1\_3 входит в большой кластер наряду с UB1\_5, UB1\_9, UB1\_12, UB1\_17 (второй посольский сосуд) и PL\_1 (Поповский Луг), а UB1\_4 наиболее близок посольскому сосуду UB1\_16. Видимо, возможности

кластерного анализа для выявления групп в данном случае несколько ограничены в силу значительных вариаций в химическом составе всех перечисленных образцов. По декоративным особенностям близки, повторим, лишь сосуды UB1\_3 и UB1\_4, остальные же сильно друг от друга отличаются.

**Деревня Мартынова (рис. 5, 6).** В поисках снижения размерности данных и параллелей между химическим составом и особенностями декорирования было опробовано множество комбинаций, но в результате выбрано сочетание Ca, Rb, Sr, Zr, Ba. Выделить группы на графиках МГК оказалось задачей еще более сложной, чем в случае с предыдущей коллекцией, вместе с тем видно, что на общем фоне заметно выделяются образцы DM\_8 и DM\_12.

По методу k-средних и ИКА выделяется несколько кластеров, внутри которых для ряда сосудов обнаруживается значительное сходство. В частности, примечательно, что три из четырех сетчатых сосудов (редкий вид технического декора для усть-бельской керамики) – DM\_5, DM\_6, DM\_10 – попали в один кластер. Ему близок другой кластер, включающий четвертый сетчатый сосуд DM\_9 (который по композиции орнамента близок сосуду DM\_6), и еще три образца, которые принадлежат сосудам с более разнообразным орнаментом, представленным горизонтальными мотивами с отдельно поставленными наколами (зубчатыми и гладким).

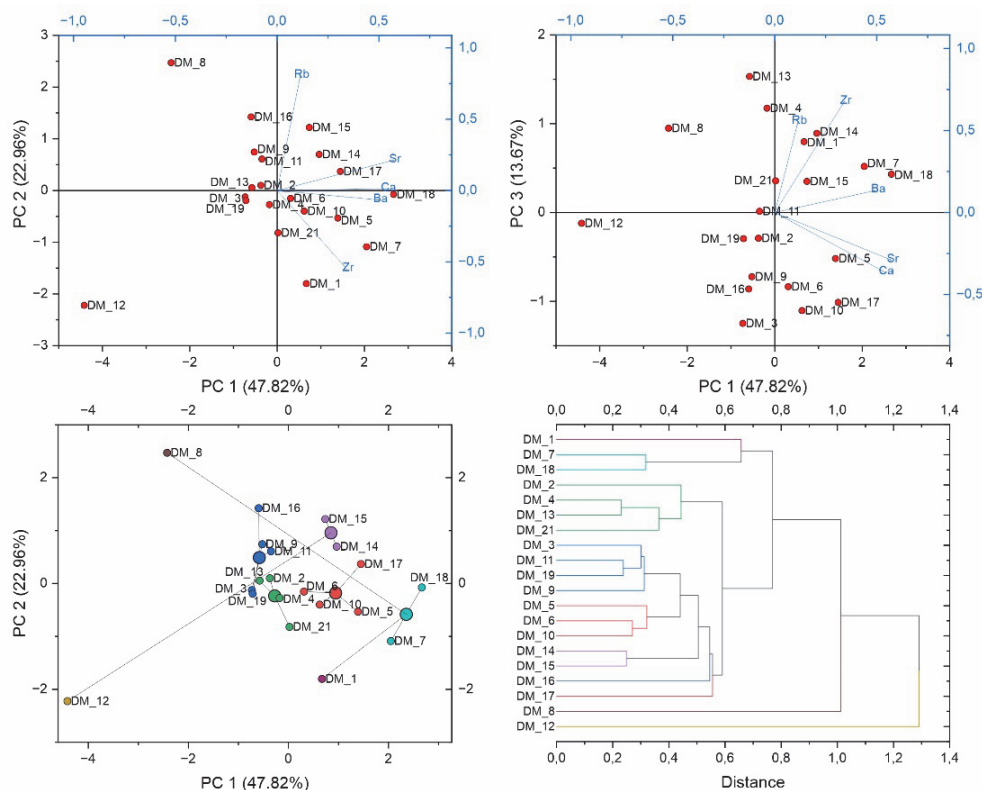


Рис. 5. Диаграммы по методам главных компонент, k-средних и иерархической кластеризации для коллекции керамики местонахождения Деревня Мартынова (DM)

Fig. 5. Principal component analysis, k-means, and hierarchical clustering plots for the ceramics collection from the Derevnya Martynova site (DM)

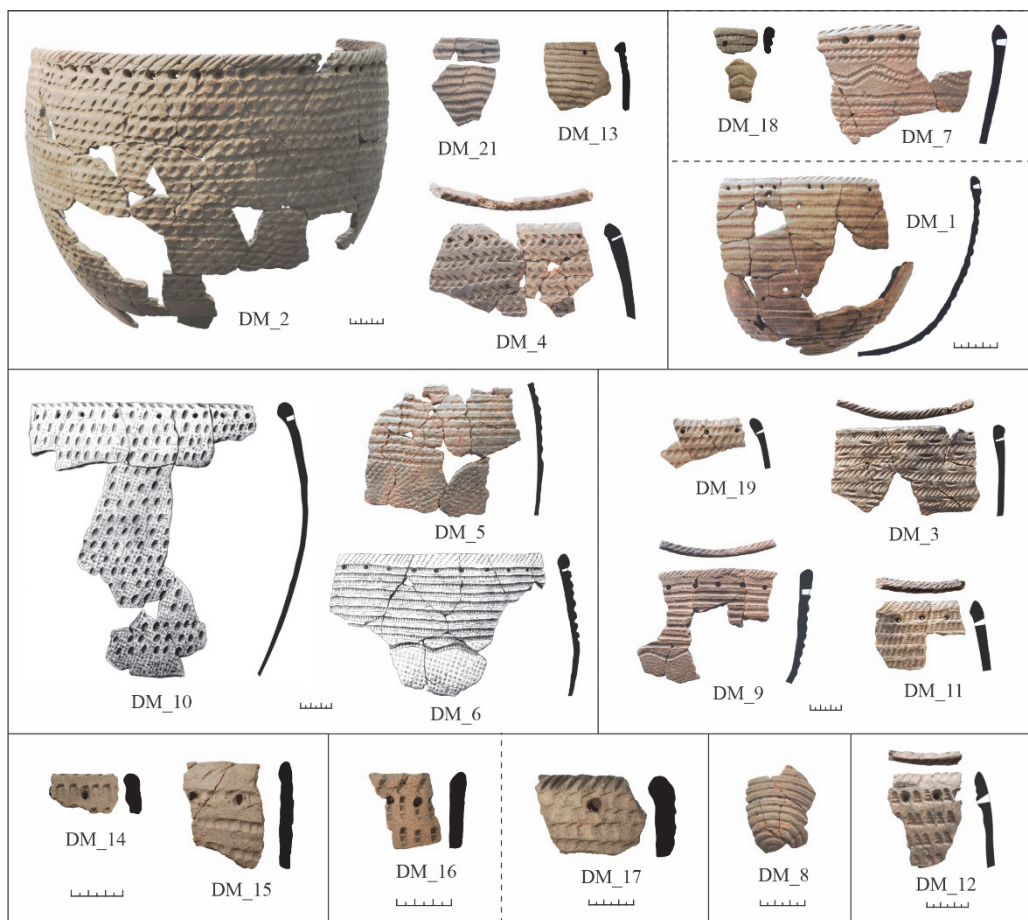


Рис. 6. Керамические сосуды с местонахождения Деревня Мартынова (DM)

Fig. 6. Ceramic vessels from the Derevnja Martynova site (DM)

Еще один крупный кластер представлен 4 сосудами, в числе которых два довольно крупных (DM\_2, DM\_4), декорированных горизонтальными линиями наколов, и два тонкостенных сосуда меньших размеров (DM\_13, DM\_21). Наибольшее сходство между собой обнаруживают последние, которые украшены плотно расположенными друг к другу горизонтальными рядами «отступающей лопатки» с узким рабочим краем.

Можно также отметить значительное сходство образцов двух сосудов, которые группируются по химическому составу и имеют аналогичный декор (DM\_7 и DM\_18). Они украшены рядами «отступающей лопатки», а композиция орнамента представляет собой чередование горизонтальных прямых (по три линии) и зигзагообразных/волнистых (по две) мотивов. Близок к ним тонкостенный сосуд малого объема, полностью декорированный горизонтальными рядами «отступающей лопатки».

Еще один небольшой кластер включает образцы DM\_14 и DM\_15, однако визуальное сходство этих сосудов не выражено.

Оставшиеся сосуды (DM\_16 и DM\_17) на кластерных диаграммах позиционируются по-разному. На одной из них (по методу k-средних) мы видим, что они



присоединяются к более крупным кластерам, на другой (дендрограмме) – они обнаруживают определенные отличия от крупных кластеров и в то же время близки образцам DM\_14 и DM\_15.

**Стоянка Генералова (рис. 7, 8).** Для анализа данной коллекции, как и для материалов Южного Приангарья, выбрано сочетание элементов Al, Si, K, Ca, Ti, Fe, Rb, Sr, Y, Zr. В отличие от предыдущих коллекций, образцы стоянки Генералова четче дифференцируются по кластерам, сосуды которых имеют сходство в морфологии и декоре.

В первый кластер попали 3 сосуда (G\_2, G\_3, G\_4) с выраженными налипными валиками в устьевой части и схожими принципами декорирования, которые подразумевали оформление бортика венчика (налепного валика) косыми линиями (в технике прочерчивания или накалывания зубчатым инструментом) и украшение зоны под валиком горизонтальными линиями, выполненными узким стеклом с зубчатым рабочим краем в технике отступания. У сосуда G\_3 данную композицию снизу дополняют вертикально вытянутые фигуры, образованные поперечными зубчатыми наколами.

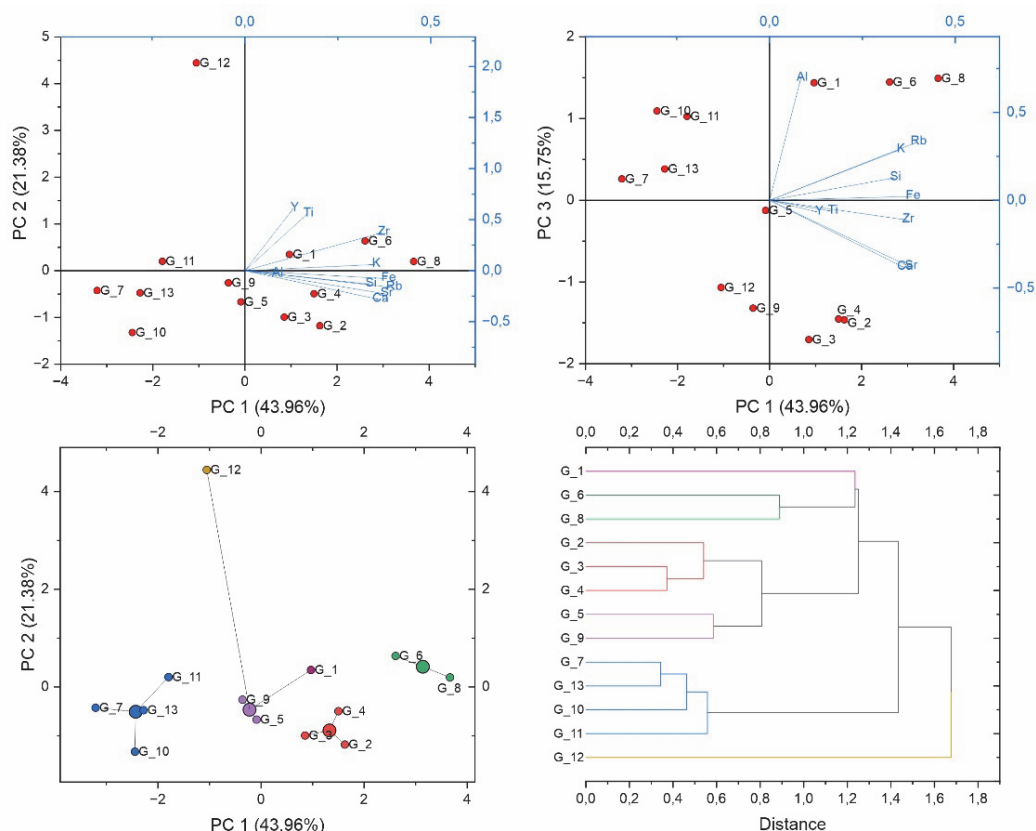


Рис. 7. Диаграммы по методам главных компонент, k-средних и иерархической кластеризации для коллекции керамики стоянки Генералова (G)

Fig. 7. Principal component analysis, k-means, and hierarchical clustering plots for the ceramics collection from the Generalov site (G)

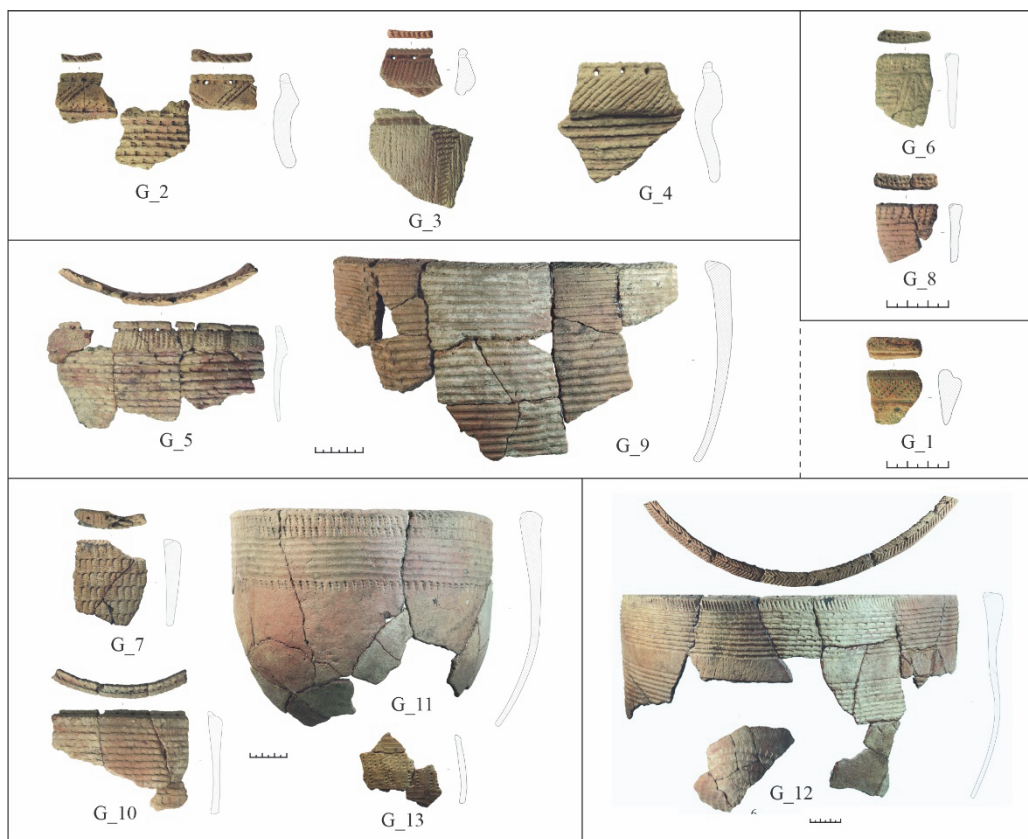


Рис. 8. Керамические сосуды стоянки Генералова (G)

Fig. 8. Ceramic vessels from the Generalov site (G)

Второй крупный кластер включает сосуды (G\_7, G\_10, G\_11), морфологически сильно отличающиеся от сосудов первого кластера. Вместо валика в устьевой части у них сформировано утолщение, которое определяет своеобразие скошенного среза венчика. Композиция орнамента также занимает верхнюю часть сосуда и представлена горизонтальными линиями, выполненными зубчатыми инструментами с широким и узким рабочими краями преимущественно в технике отступания. В этот же кластер попал образец G\_13 (фрагмент тулова), однако ввиду отсутствия устьевой части сосуда нет возможности судить, насколько он близок другим по морфологическим и декоративным особенностям.

Отдельного внимания заслуживают еще два образца, которые группируются на диаграммах G\_6 и G\_8. Они выделяются на фоне всей коллекции, так как при всей схожести с сосудами без налепных валиков из крупного кластера венчики их утолщены незначительно, а срез венчика почти горизонтален. У сосуда G\_6 своеобразен и орнамент из прореченных линий, которыми в устьевой части сформирована композиция из горизонтальных мотивов и фигура в виде расходящихся из-под венчика лучей.

Еще два сосуда, группирующихся на кластерных диаграммах (G\_5 и G\_9), по морфологическим и декоративным характеристикам, безусловно, разные. Первый близок к сосудам с налепными валиками из первого кластера с тем лишь

отличием, что бортик венчика у него оформлен вертикальными линиями, второй – сосудам без валика из второго кластера, выделяясь лишь техникой нанесения горизонтальных линий, которая здесь прочерченная. Если уменьшать количество кластеров для диаграммы по методу *k*-средних, то оба они присоединяются к первому кластеру, что наблюдается и на дендрограмме.

Оставшиеся образцы позиционируются отдельно от остальных. Сосуд G\_1, с одной стороны, внешне похож на сосуды из первого кластера, так как обладает выраженным валиком. С другой стороны, по геохимическим характеристикам он все же ближе сосудам G\_6 и G\_8 (что хорошо видно на дендрограмме и при уменьшении количества кластеров), несмотря на то что на диаграмме по методу *k*-средних он обнаруживает связь с кластером G\_5–G\_9. Сосуд G\_12 по всем морфологическим и декоративным характеристикам соотносится с сосудами без валиков из крупного кластера, однако по химическому составу сильно от них отличается, из чего можно сделать вывод, что в данном случае мы имеем дело либо со спецификой сырьевого источника, либо с выбросом.

### Обсуждение

Анализ данных ПРФА в сравнении с морфологическими и декоративными свойствами керамических сосудов демонстрирует хорошие возможности для выявления специфики сырья и формовочных масс, использовавшихся разными коллективами гончаров<sup>1</sup>.

В первой проанализированной коллекции (Усть-Белая, Индон, Поповский Луг) хорошо выделяется два кластера (в общей сложности 11 усть-бельских сосудов), для изготовления которых использовалось близкое по характеристикам глинистое сырье. Однако по морфологическим и декоративным характеристикам четко разделить их все на группы не удалось, хотя есть отдельные примеры очень похожих сосудов, авторство которых могло принадлежать одному коллективу гончаров. К ним относятся, например, сосуды UB1\_1 и UB1\_10, которые, несмотря на использование в их орнаментации разных инструментов, внешне очень близки, имеют аналогичную форму, оформление венчика и характер орнамента, составленный из отдельных наколов и покрывающий всю поверхность. В определенной степени им близок сосуд UB1\_11. Схожесть в манере декорирования наблюдается и у сосудов UB1\_6 и UB1\_8, которые украшены зигзагообразными мотивами. Можно также отметить сильное визуальное сходство сосудов UB1\_3 и UB1\_4 с орнаментом из отдельно поставленных наколов, хоть они и не на всех диаграммах обнаруживают близость химического состава.

Для самого крупного кластера, состоящего из шести сосудов, такие группы выделить сложнее, хотя в целом всех их объединяет похожая техника декорирования (отступление), плотное расположение горизонтальных мотивов и широкое использование зубчатых инструментов. В их числе можно отметить группы с близкими по облику сосудами UB2\_1 и UB1\_15<sup>2</sup>, а также UB1\_13 и UB1\_14, которые на всех диаграммах позиционируются рядом друг с другом.

<sup>1</sup> Имеются в виду небольшие группы гончаров, которые в рамках общей культурной традиции гончарного производства могли использовать разные источники исходного сырья и вырабатывали собственные стили оформления сосудов, которые, в свою очередь, служили одним из инструментов самовыражения и самоидентификации для отдельных социальных групп, в частности семейных, где традиции передавались из поколения в поколение.

<sup>2</sup> Примечательно, что они происходят с разных участков местонахождения Усть-Белая: UB2\_1 – из раскопок на пойме, UB1\_15 – из раскопок на террасовидной поверхности. Они, очевидно, осваивались в разное время, а расстояние между ними составляет около 0,4 км.

Для изготовления оставшихся усть-бельских сосудов, очевидно, использовались другие и довольно разнообразные источники сырья, что не противоречит вариативности в их декоре, т. е. они были сделаны разными группами гончаров. Особенно выделяются образец с местонахождения Индон (IN\_1) с очень своеобразным орнаментом, а также один из посольских сосудов (UB1\_16), для которых характерны повышенные содержания К, Rb, Y и Ca, Sr соответственно. Вопросы вызывает только позиция образца с Поповского Луга (PL\_1). Изначально представлялось, что он будет иметь значительные отличия по химическому составу, но он оказался довольно близок по этим характеристикам сосудам Усть-Белой, особенно образцу UB1\_12. В теории, если мы предполагаем, что охотники-собиратели юга Байкало-Енисейской Сибири не транспортировали готовые сосуды на такие далекие расстояния, а эксплуатировали на каждой стоянке (поселении) наиболее близко расположенные источники, состав образцов с р. Белой и Верхней Лены должен отличаться, так как первичные глины и суглинки в этих районах развивались на корях выветривания разных древних отложений [Минералогическая ... 2022; Государственная ... , 2009]. Однако в действительности наблюдается иная картина, и с чем это связано, пока непонятно. Видимо, данный вопрос можно прояснить только при увеличении выборки по усть-бельской керамике Верхней Лены.

Для посольских сосудов с Усть-Белой, по данным ПРФА, использовалось явно разное сырье, так как один из них (UB1\_17) близок по составу некоторым образцам усть-бельской керамики, а другой (UB1\_16), как отмечено выше, позиционируется отдельно от основных кластеров. О том, что эти сосуды были изготовлены разными коллективами гончаров, говорят и отличия в их декорировании.

Анализ коллекции усть-бельской керамики с местонахождения Деревня Мартынова показал, что при всем разнообразии в ее декорировании сырье, использовавшееся для большинства сосудов, обладает очень схожими характеристиками. Исключение составляют только два образца – DM\_8 и DM\_12, – которые практически при любой комбинации элементов позиционируются на значительном удалении от остальных.

Для данной коллекции выявлено несколько кластеров, и в ряде случаев с определенной долей уверенности можно выделить группы керамики, связанные с отдельными коллективами гончаров. Это в первую очередь относится к сосудам DM\_7 и DM\_18, DM\_13 и DM\_21, а также к сетчатым сосудам DM\_5 и DM\_6. Во всех случаях мы видим очень похожие (до полного тождества) принципы и манеру декорирования. Что касается остальных сосудов с оттисками плетеной сетки, то здесь не все выглядит однозначно. Например, сосуд DM\_10, который относится к тому же кластеру, что и DM\_5, DM\_6, в действительности оформлен совсем по-другому, хотя, конечно, можно допустить, что такие вариации в декорировании могли встречаться и у одного коллектива гончаров. Однако эта гипотеза может быть подтверждена, только если будет доказано, что традиция использования сетчатого технического декора в вопросе самоидентификации коллектива гончаров имела первостепенное значение. Также нерешенным остается вопрос с принадлежностью сетчатого сосуда DM\_9, который по декоративным признакам наиболее близок сосуду DM\_6. Однако мы видим, что сырье для его изготовления несколько отличается. С чем это связано? С существованием аналогичных, вплоть до повторения деталей композиции орнамента, традиций в

разных коллективах, которые тесно взаимодействовали и делились опытом, или же с эксплуатацией разных источников одной и той же группой охотников-собираателей? Пока не ясно.

Идеальной для кластеризации и выявления потенциальных коллективов гончаров оказалась коллекция со стоянки Генералова, для которой, помимо прочего, ранее был сделан планиграфический анализ [Абрашина, 2018]. Снижение размерности данных методами многомерного анализа позволило довольно четко ее дифференцировать и выявить несколько групп посольской керамики. Хорошо выделяется три кластера: один для сосудов с налепными валиками и два для емкостей без валиков. В соответствии с данными планиграфии два сосуда из первой группы (G\_2 и G\_4) найдены на одном участке раскопа (площадь 13, пикет 27<sup>3</sup>). Довольно близко к ним (площадь 13, пикет 23) обнаружен сосуд G\_5, который хоть и не попал в этот кластер, но внешне на них очень похож. Третий сосуд из указанной группы (G\_3) найден на другом участке (площадь 12, пикет 60), а рядом с ним (площадь 12, пикет 70) зафиксирован еще один не попавший в этот кластер сосуд с валиком – G\_1.

Большинство сосудов без валиков найдены в расположенных неподалеку друг от друга секторах раскопа (площадь 12, пикеты 38 и 50). Это два группирующихся по данным ПРФА сосуда G\_6 и G\_8, еще два из крупного кластера – G\_10 и G\_11, а также сосуды, не попавшие в указанные кластеры, – G\_9 и G\_12. Лишь один сосуд данного морфологического варианта (G\_7) зафиксирован на значительном удалении от них (площадь 21, пикет 14), и следует отметить, что по декору он несколько выделяется на фоне всех сосудов без валиков.

Таким образом, кластеризация, проведенная для коллекции керамики стоянки Генералова по результатам ПРФА, в целом хорошо соотносится с морфологической и декоративной спецификой сосудов и данными планиграфического анализа. Опираясь на них, можно утверждать, что местонахождение посещало минимум две крупные группы охотников-собираателей (вероятно, неоднократно), со своими вариациями в конструировании и декорировании сосудов, но в рамках единой гончарной традиции. При этом, учитывая вариабельность химического состава исходного сырья и формовочных масс<sup>4</sup>, можно предполагать, что мы имеем дело с продукцией большего числа отдельных коллективов гончаров, как минимум трех-четырех. Следует также подчеркнуть, что такая хорошая дифференциация, видимо, связана с отсутствием доступного глинистого сырья в окрестностях стоянки Генералова, так как покровные отложения высоких поверхностей (во всяком случае на правом берегу р. Чуны), по нашим наблюдениям, представлены преимущественно плейстоценовыми супесями и песками. В отличие от местонахождений Усть-Белая и Деревня Мартынова, вблизи которых достаточно глин и суглинков, пригодных для гончарства [Государственная ... , 2009; 2012], у местных охотников-собираателей скорее всего не было возможности изготавливать сосуды непосредственно на стоянке, и они транспортировались на ее территорию в периоды редких посещений. А о том, что они были

<sup>3</sup> Пикет – сектор раскопа размерами 10×10 м, площадь включает 100 пикетов.

<sup>4</sup> Возможно, эта вариативность обусловлена не только выбором разных источников сырья, но и количеством и составом искусственных примесей в формовочных массах (в первую очередь песка), концентрация которых в посольской керамике, по нашим наблюдениям, довольно значительна. Но этот вопрос требует отдельного исследования.



нечастыми, говорит незначительное количество посольской керамики в целом, так как на раскопах общей площадью более 14 тыс. м<sup>2</sup> найдены фрагменты всего 13 сосудов.

### Заключение

Резюмируя, отметим, что методы многомерной статистики, в частности метод главных компонент и кластерный анализ, позволяют снижать размерность данных и более четко выявлять группы близких по своим свойствам сосудов даже при схожих геохимических характеристиках исходного сырья и формовочных масс. При этом степень их эффективности зависит от разных факторов и в каждом конкретном случае варьирует. По результатам настоящего исследования наилучшие возможности для дифференциации сосудов одного типа и потенциального выявления количества отдельных коллективов гончаров ПРФА показал на примере коллекции посольской керамики из раскопок стоянки Генералова. Так как в непосредственной близости от местонахождения нет пригодных для гончарства глинистых отложений, все сосуды, вероятно, изготавливались за ее пределами, и у каждой группы охотников-собирателей, периодически посещавших стоянку, были собственные источники исходного сырья.

По материалам местонахождений Усть-Белая и Деревня Мартынова такой четкой дифференциации не наблюдается, хотя при помощи методов многомерного анализа удалось выявить несколько групп сосудов, которые могли принадлежать разным коллективам гончаров. Эта ситуация обусловлена, по нашему мнению, доступностью пригодного для гончарства глинистого сырья в долине р. Ангары, где широкое распространение на высоких поверхностях имеют четвертичные суглинки, при этом фиксируется множество проявлений элювиальных глин и суглинков, развивавшихся на корках выветривания различных древних отложений. То есть у охотников-собирателей, населявших эти территории в неолите, не было необходимости в специальном поиске исходного сырья, и разные коллективы гончаров могли эксплуатировать одни и те же источники в пределах района, который они осваивали в течение определенного времени. Это хорошо видно на примере коллекции усть-бельской керамики с местонахождения Деревня Мартынова, где довольно разные по облику сосуды демонстрируют аналогичный химический состав сырья и формовочных масс. Очевидно, что более высокого разрешения в дифференциации керамики с подобных археологических объектов можно достичь только при увеличении выборки.

### Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 24-28-01421.

### Список литературы

- Абрашина М. Е. Анализ планиграфии керамических комплексов стоянки Генералова (Северное Приангарье) // Древние и традиционные культуры Сибири и Дальнего Востока: проблемы, гипотезы, факты / отв. ред. М. Л. Бережнова, И. В. Толпеко. Омск : Издатель-Полиграфист, 2018. С. 66–68.
- Абрашина М. Е., Уланов И. В., Бердников И. М. Керамика посольского типа в археологических комплексах стоянки им. А. Г. Генералова (Северное Приангарье) // Северные архивы и экспедиции. 2021. Т. 5, № 1. С. 9–22.
- Бердников И. М. Портативный рентгенофлуоресцентный анализ в археологии каменного века: ограничения и возможности // Вестник Омского университета. Серия «Исторические науки». 2025. Т. 12, № 1 (45). С. 151–158.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение).

- ние). Серия Ангара-Енисейская. Лист О-48 – Усть-Илимск. Объяснительная записка / С. А. Пермяков, В. П. Денисенко, Т. Д. Попова и др. СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2012. 433 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Ангара-Енисейская. Лист N-48 – Иркутск / Т. Ф. Галимова, С. А. Пермяков, В. Т. Бобровский, А. Г. Пашкова, Л. А. Бормоткина, С. А. Поваринцева, А. А. Матвейчук, М. М. Намолова, В. М. Садриев. Объяснительная записка. СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ. 2009. 574 с.
- Зубков В. С. Неолит и ранний бронзовый век верхней Лены : дис. ... канд. ист. наук. Ленинград, 1982. 179 с.
- Когай С. А., Бердников И. М. Неолитические материалы местонахождения деревня Мартынова (Северное Приангарье) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Геоархеология. Этнология. Антропология. 2013. № 2. С. 124–137.
- Минералогическая и химическая характеристики глин Прибайкальского региона / Е. И. Демонтерова, Е. А. Михеева, Г. В. Пашкова, Д. Л. Шергин, А. С. Мальцев, М. Н. Рубцова // Современные направления развития геохимии. Иркутск : Изд-во Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2022. С. 158–159.
- Соколова Н. Б., Шегутов И. С., Бердников И. М. Методические аспекты рентгенофлуоресцентного анализа археологической керамики при помощи портативного спектрометра (по материалам среднего неолита Байкало-Енисейской Сибири) // Древняя керамика Евразии: от сосуда к культуре. СПб.: ИИМК РАН, 2024. С. 22–24.
- Стоянка им. Генералова (р. Чуна). Результаты охранно-спасательных работ 2013 года / Н. Е. Бердникова, Е. О. Роговской, И. М. Бердников, Е. А. Липнина, Д. Н. Лохов, С. П. Дударёк, Н. Б. Соколова, А. А. Тимошенко, А. А. Попов, Н. В. Харламова // Известия Иркутского государственного университета. Серия Геоархеология. Этнология. Антропология. 2014. Т. 7. С. 150–191.
- Технологические и культурные традиции гончарства в среднем неолите Байкало-Енисейской Сибири / И. В. Уланов, И. М. Бердников, Н. Б. Соколова, М. Е. Абрашина, А. В. Уланова // Oriental Studies. 2022. Т. 15. № 3. С. 530–559.
- Уланов И. В. Древнее гончарство юга Байкало-Енисейской Сибири: культурные и технологические традиции: дис. ... канд. ист. наук. Иркутск, 2022. 378 с.
- Хронология неолитической керамики Байкало-Енисейской Сибири: основные идеи и новые данные / И. М. Бердников, О. И. Горюнова, А. Г. Новиков, Н. Е. Бердникова, И. В. Уланов, Н. Б. Соколова, М. Е. Абрашина, К. А. Крутикова, Е. О. Роговской, Д. Н. Лохов, С. А. Когай // Известия Иркутского государственного университета. Серия Геоархеология. Этнология. Антропология. 2020. Т. 33. С. 23–53.
- Accessibility and Exchange in Boriquén: Compositional Study of Ceramics in Pre-colonial Puerto Rico / E. C. Kracht, D. J. Kennett, R. Rodríguez Ramos, N. J. Wallis, E. Frahm // Journal of Island and Coastal Archaeology. 2020. July. P. 1–23. <https://doi.org/10.1080/15564894.2025.2511113>
- Determining the Provenance of Cayo Pottery from Grenada, Lesser Antilles, Using Portable X-Ray Fluorescence Spectrometry / R. B. Scott, B. Neyt, C. L. Hofman, P. Degryse // Archaeometry. 2018. Vol. 60. P. 966–985. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.103315>
- Handheld XRF for Art and Archaeology / eds. by A. N. Sugar, J. L. Mass. Leuven : Leuven University Press, 2012. 480 p.
- Holmqvist E. Handheld Portable Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry (pXRF) // The Oxford Handbook of Archaeological Ceramic Analysis. Oxford University Press, 2016. P. 363–381.
- Hunt A. M. W., Speakman R. J. Portable XRF analysis of archaeological sediments and ceramics // Journal of Archaeological Science. 2015. Vol. 53. P. 626–638.

## References

- Abrashina M. E. Analiz planigrafii keramicheskikh kompleksov stoyanki Generalova (Severnnoe Priangarie) [Analysis of the planigraphy of ceramic complexes at the Generalova site (Northern Angara region)]. *Drevnie i traditsionnye kultury Sibiri i Dalnego Vostoka: problemy, gipotezy, fakty* [Ancient and traditional cultures of Siberia and the Far East: problems, hypotheses, facts]. Omsk, 2018, pp. 66–68. (In Russ.)
- Abrashina M. E., Ulanov I. V., Berdnikov I. M. Keramika posolskogo tipa v arheologicheskikh kompleksakh stoyanki im. A. G. Generalova (Severnnoe Priangarie) [Ceramic of Posolskaya Type in Archaeology Complexes on Generalov Site (North Angara Region)]. *Severnnye Arkhivy i Ekspeditsii* [Northern Archives and Expeditions]. 2021, Vol. 1, pp. 9–22. (In Russ.)
- Berdnikov I. M. Portativnyi rentgenofluorescentnyi analiz v arheologii kamennogo veka: ogranicheniya i vozmozhnosti [Portable X-ray Fluorescence Analysis in Stone Age Archaeology: Limitations and Possibilities]. *Vestnik Omskogo universiteta. Seriya "Istoricheskie nauki"* [Herald of Omsk University. Series "Historical Studies"]. 2025, Vol. 12, Is. 1 (45), pp. 151–158. (In Russ.) DOI: 10.24147/2312-1300.2025.12(1).151-158
- Berdnikov I. M., Goriunova O. I., Novikov A. G., Berdnikova N. E., Ulanov I. V., Sokolova N. B., Abrashina M. E., Krutikova K. A., Rogovskoi E. O., Lokhov D. N., Kogai S. A. Khronologiya neoliticheskoi keramiki Baikalo-Eniseiskoi Sibiri: osnovnye idei i novye dannye [Chronology of the Neolithic Ceramics of Baikal-Yenisei Siberia: Basic Ideas and New Data]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo unersiteta. Seriya Geoarkheologiya. Etnologiya. Antropologiya* [Bulletin of the Irkutsk State University. Geoarchaeology, Ethnology, and Anthropology Series]. 2020, Vol. 33, pp. 23–53. (In Russ.) <https://doi.org/10.26516/2227-2380.2020.33.23>
- Berdnikova N. E., Rogovskoi E. O., Berdnikov I. M., Lipnina E. A., Lokhov D. N., Dudarek S. P., Sokolova N. B., Timoshchenko A. A., Popov A. A., Kharlamova N. V. Stoyanka im. Generalova (r. Chuna). Rezultaty okhranno-spasatelnykh rabot 2013 goda [Generalov Site (Tchouna River). Results of Rescue Excavations in 2013]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Geoarkheologiya. Etnologiya. Antropologiya* [Bulletin of the Irkutsk State University. Geoarchaeology, Ethnology, and Anthropology Series]. 2014, Vol. 7, pp. 150–191. (In Russ.)

- Demonterova E. I., Mikheeva E. A., Pashkova G. V., Shergin D. L., Maltsev A. S., Rubtsova M. N. Mineralogicheskaya i khimicheskaya kharakteristiki glin Pribaikalskogo regiona [Mineralogical and chemical characteristics of clays of the Baikal region]. *Sovremennye napravleniya razvitiya geokhimii [Modern directions of development of geochemistry]*. Irkutsk, V. B. Sochava Institute of Geografy SB RAS Publ., 2022, pp. 158–159. (In Russ.)
- Galimova T. F., Permyakov S. A., Bobrovskii V. T., Pashkova A. G., Bormotkina L. A., Povarintseva S. A., Matveichuk A. A., Namolova M. M., Sadriev V. M. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tretie pokolenie). Seriya Angaro-Eniseiskaya. List N-48 – Irkutsk. Obyasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1 000 000 (third generation). Angara-Yenisei Series. Sheet N-48 – Irkutsk. Explanatory Note]*. St. Petersburg, VSEGEI Card Factory Publ., 2009, 574 p. (In Russ.)
- Holmqvist E. Handheld Portable Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry (pXRF). *The Oxford Handbook of Archaeological Ceramic Analysis*. Oxford University Press, 2016, pp. 363–381.
- Hunt A. M. W., Speakman R. J. Portable XRF analysis of archaeological sediments and ceramics. *Journal of Archaeological Science*. 2015, Vol. 53, pp. 626–638.
- Kogai S. A., Berdnikov I. M. Neoliticheskie materialy mestonakhozhdeniya Derevnaya Martynova (Severnoe Priangarie) [Neolithic Materials of the Site Derevnaya Martynova (Northern Angara Region)]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Geoarkheologiya. Etnologiya. Antropologiya [Bulletin of the Irkutsk State University. Geoarchaeology, Ethnology, and Anthropology Series]*. 2013, Vol. 2 (3), pp. 124–137. (In Russ.)
- Kracht E. C., Kennett D. J., Rodríguez Ramos R., Wallis N. J., Frahm E. Accessibility and Exchange in Boriquén: Compositional Study of Ceramics in Pre-colonial Puerto Rico. *Journal of Island and Coastal Archaeology*. 2025, July, pp. 1–23. <https://doi.org/10.1080/15564894.2025.2511113>
- Permyakov S. A., Denisenko V. P., Popova T. D., Kurakina A. N. et al. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tretie pokolenie). Seriya Angaro-Eniseiskaya. List O-48 – Ust-Ilimsk. Obyasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1 000 000 (third generation). Angara-Yenisei Series. Sheet O-48 – Ust-Ilimsk. Explanatory Note]*. St. Petersburg, VSEGEI Card Factory Publ., 2012, 433 p. (In Russ.)
- Scott R. B., Neyt B., Hofman C. L., Degryse P. Determining the Provenance of Cayo Pottery from Grenada, Lesser Antilles, Using Portable X-Ray Fluorescence Spectrometry. *Archaeometry*. 2018, Vol. 60, pp. 966–985. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.103315>
- Shugar A. N., Mass J. L. (Eds.). *Handheld XRF for Art and Archaeology*. Leuven, Leuven University Press, 2012, 480 p.
- Sokolova N. B., Shegutov I. S., Berdnikov I. M. Metodicheskie aspekty rentgeno fluoressentsnogo analiza arkheologicheskoi keramiki pri pomoshchi portativnogo spektrometra (po materialam srednego neolita Baikalo-Eniseiskoi Sibiri) [Methodological aspects of X-ray fluorescence analysis of archaeological ceramics using a portable spectrometer (based on Middle Neolithic assemblages of Baikal-Yenisei Siberia)]. *Drevnyaya keramika Evrazii: ot sosuda k kulture [Ancient Pottery of Eurasia: from vessel to culture]*. St. Petersburg, IHMC RAS Publ., 2024, pp. 22–24. (In Russ.)
- Ulanov I. V. *Drevnee goncharstvo yuga Baikalo-Eniseiskoi Sibiri: kulturnye i tekhnologicheskie traditsii : dis. ... kand. ist. nauk [Ancient pottery in the south of Baikal-Yenisei Siberia: cultural and technological traditions. Cand. histor. sci. syn. diss.]*. Irkutsk, 2022, 378 p. (In Russ.)
- Ulanov I. V., Berdnikov I. M., Sokolova N. B., Abrashina M. E., Ulanova A. V. Tekhnologicheskie i kulturnye traditsii goncharstva v srednem neolite Baikalo-Eniseiskoi Sibiri [Middle Neolithic in Baikal-Yenisei Siberia: Technological and Cultural Traditions of Pottery Reviewed]. *Oriental Studies*. 2022, Vol. 15, Is. 3, pp. 530–559. (In Russ.) DOI: 10.22162/2619-0990-2022-61-3-530-559
- Zubkov V. S. *Neolit i rannii bronzovyi vek Verkhnei Leny : dis. ... kand. ist. nauk [Neolithic and the Early Bronze Age of the Upper Lena. Cand. histor. sci. syn. diss.]*. Leningrad, 1982, 310 p. (In Russ.)

#### Сведения об авторах

##### Бердников Иван Михайлович

кандидат исторических наук, старший научный сотрудник, зам. директора по науке, НИЦ «Байкальский регион», Иркутский государственный университет; Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
e-mail: yan-maiski@yandex.ru

##### Шегутов Иван Сергеевич

младший научный сотрудник, НИЦ «Байкальский регион», Иркутский государственный университет; Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
e-mail: shegutow@gmail.com

##### Соколова Наталья Борисовна

младший научный сотрудник, НИЦ «Байкальский регион», Иркутский государственный университет; Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
e-mail: snb-87@mail.ru

#### Information about the authors

##### Berdnikov Ivan Mikhailovich

Candidate of Sciences (History), Senior Researcher, Deputy Director for Science of Scientific Research Center “Baikal Region”, Irkutsk State University; 1, K. Marx st., Irkutsk, 664003, Russian Federation  
e-mail: yan-maiski@yandex.ru

##### Shegutov Ivan Sergeevich

Junior Researcher, Scientific Research Center “Baikal Region”, Irkutsk State University; 1, K. Marx st., Irkutsk, 664003, Russian Federation  
e-mail: shegutow@gmail.com

##### Sokolova Natalia Borisovna

Junior Researcher, Scientific Research Center “Baikal Region”, Irkutsk State University; 1, K. Marx st., Irkutsk, 664003, Russian Federation  
e-mail: snb-87@mail.ru