УДК 902.65(571.53)
https://doi.org/10.26516/2227-2380.2024.49.3

Оценка возможностей портативного рентгенофлуоресцентного анализатора для дифференциации каменного сырья коррадированных артефактов (по материалам Осинско-Унгинского расширения Братского водохранилища)

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

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Представлены результаты портативного рентгенофлуоресцентного анализа (ПРФА) коллекции каменных коррадированных артефактов с двух местонахождений Осинско-Унгинского расширения Братского водохранилища – Мельхитуй 2 и Бильчир 4. Определен подходящий геохимический индикатор для выявления блоков сырья, которые использовались в литопроизводстве палеолитическим населением Приангарья. Установлено, что наилучшие результаты демонстрирует отношение K/Rb к Al_2O_3, которое позволило выделить 12 групп орудий, близких друг другу как по показателям индикатора, так и по физическим характеристикам породы. Сделан вывод, что в восьми случаях они могли изготавливаться из единых блоков сырья, а в остальных – из разных, но имеющих при этом общий генезис и происходящих с одних участков отложений.

Ключевые слова: Байкало-Енисейская Сибирь, Братское водохранилище, ранний и средний палеолит, галечная индустрия, коррадированные артефакты, элементный анализ, портативный рентгенофлуоресцентный спектрометр.

Для цитирования: Бердников И. М., Шегутов И. С., Соколова Н. Б. Оценка возможностей портативного рентгенофлуоресцентного анализатора для дифференциации каменного сырья коррадированных артефактов (по материалам Осинско-Унгинского расширения Братского водохранилища) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Геоархеология. Этнология. Антропология. 2024. Т. 49. С. 3–14. https://doi.org/10.26516/2227-2380.2024.49.3

Evaluation of the Capabilities of a Portable X-ray Fluorescence Analyzer for Differentiation of Lithic Raw Materials of Aeolian-Corraded Artifacts (Based on the Materials of the Osa-Unga Wide Section of the Bratsk Reservoir)

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

Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. The results of X-ray fluorescence analysis using a portable spectrometer (pXRF) are presented, carried out on a collection of stone aeolian-corraded artifacts from the Melkhitui 2 and Bilchir 4 sites, which are located in the Osa-Unga wide section of the Bratsk Reservoir. The aim of the study was to determine a suitable geochemical indicator for identifying blocks of raw materials and groups of rocks similar in composition that were used in lithic production by the Paleolithic population of the Angara region. As a result of the analysis of the aggregate data, it was established that the raw materials are quite diverse and are represented by three main types of rocks: 1) metamorphic/metasedimentary – quartzite, quartzite-sandstone of varying degrees of metamorphism and structure, as well as crystalline schist; 2) sedimentary – mainly sandstone and a small amount of chert; 3) and igneous, among which one granitoid sample stands out, and the rest are varieties of extrusive rock. Considering the petrographic features of the collection, it can be assumed that the sources of raw materials may be associated with Jurassic deposits, which are widespread in the Upper Angara region. For a general characterization of the chemical composition of artifacts and differential diagnostics of rocks (primarily metasedimentary and sedimentary), an analysis of the pXRF data was carried out based on the ratio of aluminosilicate (AM) and hydrolysate (HM) petrochemical modules. In search of the best options for geochemical discrimination, various indicators were tested using different elements, including Al, Ti, Rb, Sr, Y, Zr, Ba. All of them turned out to be practically useless for identifying groups of samples close in composition, which would be similar in color, structure and texture of the rock. As a result, it was established that the best results are demonstrated by the K/Rb to Al_2O_3 ratio, which made it possible to identify 12 groups of tools that are close to each other both in terms of indicator values and in terms of the physical characteristics of the rock. It was concluded that in eight cases they could have been made from a single block of raw material, and in the remaining cases from different blocks, which at the same time have a common genesis and, apparently, a single stratigraphic position in the deposits.

Keywords: Baikal-Yenisei Siberia, Bratsk Reservoir, Early and Middle Paleolithic, pebble industry, aeolian-corraded artifacts, elemental analysis, portable X-ray fluorescence spectrometer.

For citation: Berdnikov I. M., Shegutov I. S., Sokolova N. B. Evaluation of the Capabilities of a Portable X-ray Fluorescence Analyzer for Differentiation of Lithic Raw Materials of Aeolian-Corraded Artifacts (Based on the Materials of the Osa-Unga Wide Section of the Bratsk Reservoir). *Bulletin of the Irkutsk State University. Geoarchaeology, Ethnology, and Anthropology Series.* 2024, Vol. 49, pp. 3–14. https://doi.org/10.26516/2227-2380.2024.49.3 (In Russ.)

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

Введение

Рентгенофлуоресцентный метод анализа (РФА) позволяет археологам решать широкий спектр задач, связанных с изучением сырьевых и адаптационных стратегий, миграций и культурных контактов разных групп древнего населения. Разновидностью данного метода является РФА с использованием портативного прибора (ПРФА), который позволяет быстро обрабатывать большие объемы предметного материала без разрушения образцов, что крайне важно для сохранения археологических коллекций.

Для каменного века, в отличие от поздних периодов, когда металл становится одним из основных материалов для производства предметов хозяйства и вооружения, возможности РФА изучены пока недостаточно. Наилучшим образом разработано направление по изучению химического состава изделий из обсидиана и кремнистых пород для решения вопросов происхождения сырья [см. напр.: Обсидиан в первобытных … , 2010; Integration of Obsidian … , 2014; Högberg, Hughes, Olausson, 2016; Acquafredda, Muntoni, Pallara, 2017; Geochemical source … , 2017; Tykot, Martin, 2020]. Артефакты из других пород становятся объектом РФА гораздо реже, однако опыт их изучения демонстрирует весьма интересные результаты [Аргиллитовые артефакты … , 2018].

Основные задачи ПРФА в исследованиях каменных артефактов аналогичны традиционному РФА, и связаны они преимущественно с выявлением источников сырья в целях определения характера их эксплуатации, адаптации и коммуникаций древних охотников-собирателей. Определенные успехи в этой области достигнуты в изучении изделий из обсидиана [см. напр.: Phillips, Speakman … , 2009; Sheppard, Trichereau, Milicich, 2010; Handheld XRF … , 2012; Evaluating the applicability … , 2016]. Еще одно направление связано с идентификацией и подсчетом количества блоков разных пород, использовавшихся в расщеплении и изготовлении орудий, в рамках метода сырьевых единиц [Портативный РФА … , 2023].

Цель настоящего исследования – оценка возможностей ПРФА в изучении каменных артефактов со следами эоловой корразии на примере коллекции, полученной в результате наших археологических разведок 2022–2023 гг. в районе Осинско-Унгинского расширения Братского водохранилища (Южное Приангарье), в целях определения подходящих геохимических индикаторов для выявления отдельных блоков сырья или близких по химическому составу пород, происходящих из одного источника.

Материалы и методика исследования

Для проведения анализа отобрано 88 коррадированных артефактов с двух археологических местонахождений: Мельхитуй 2 (2 пункта находок, 36 предметов) и Бильчир 4[1] (3 пункта находок, 52 предмета)[2] (рис. 1, 2). Первое расположено на левом берегу Братского водохранилища, в 2 км на юго-восток от устья Унгинского залива. Второе находится на правом берегу Осинского залива (близ устья залива Обуса), у южной окраины пос. Жданово. Расстояние между ними по прямой составляет около 30 км. Археологические материалы преимущественно экспонированные и происходят из сборов на пляжах. В составе коллекции определены такие категории, как скребла (в основном продольные, включая двойные

[1] Наименование в перечне выявленных ОАН – «Стоянка Бильчир 4 (пляж)».

[2] Образцы шифрованы с учетом нумерации пунктов находок и артефактов. Например: B1-13 – Бильчир 4, пункт 1, находка № 13.

и конвергентные), острия (включая клювовидные формы), комбинированные орудия (скребла/острия), ножевидные изделия, рубила и рубящие орудия, отбойник, оббитая галька, пластина и немногочисленные монфронтальные нуклеусы для отщепов и пластин. Орудия выполнены преимущественно на крупных галечных сколах или на гальках, вторичная обработка которых минимальная, в основном унифасиальная (частичная или полная). Бифасиально обработанных изделий всего два – двойное скребло и рубило. Один предмет (ножевидное острие на крупной пластине) найден *in situ* во врезке, сделанной на местонахождении Бильчир 4 (пункт 1) в обнажении берегового уступа, на глубине 6,7 м, ниже казанцевской почвы. Возраст их, по предварительной оценке, можно определить финалом среднего плейстоцена в рамках от 130 до минимум 200 тыс. л. н., если опираться в совокупности на стратиграфическую позицию находки в бильчирском разрезе и архаичный облик артефактов со следами значительной эоловой корразии.

Рентгенофлуоресцентный анализ проведен при помощи портативного спектрометра Olympus Vanta M (рентгеновская трубка 4 Вт, ускоряющее напряжение 50 кВ, родиевый (Rh) анод) в режиме калибровки Geochem extra с экспозицией на первые два луча по 30 с, на третий – 20 с. Для каждого образца осуществлялось от трех до пяти измерений (с последующим усреднением значений), в зависимости от степени зернистости поверхности, в экранированной камере рабочей станции. При этом по возможности выбирались участки поверхностей скалывания без следов осаждения карбонатных или железистых соединений, в наименьшей степени подвергнутые эоловой корразии.

Рис. 1. Карта Осинско-Унгинского расширения Братского водохранилища с указанием расположения палеолитических местонахождений Мельхитуй 2 (*1*) и Бильчир 4 (*2*)

Fig. 1. Map of the Osa-Unga wide section of the Bratsk reservoir indicating the location of the Paleolithic sites Melkhitui 2 (*1*) and Bilchir 4 (*2*)

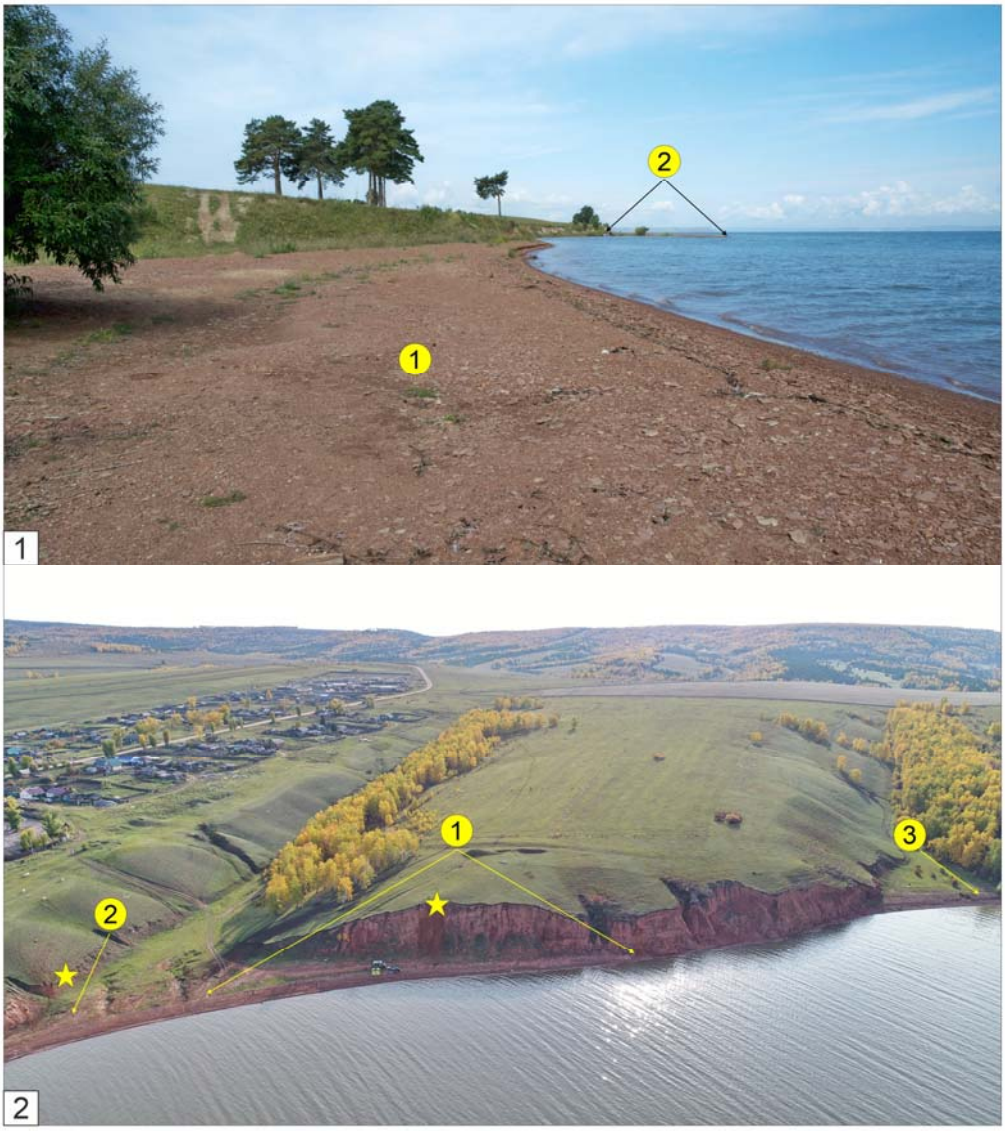

Рис. 2. Общие виды на местонахождения:
1 – Мельхитуй 2; *2* – Бильчир 4 (цифрами показаны номера пунктов находок, маркерами – места врезок)

Fig. 2. General views of the sites:
1 – Melkhitui 2; *2* – Bilchir 4 (numbers show locations of finds, markers indicate places of test pits)

Уровень основных петрогенных оксидов высчитывался посредством встроенной функции ПО Vanta. Обработка и анализ данных проводились при помощи программного обеспечения StatSoft STATISTICA 12.5. Исходные данные анализировались при помощи традиционных петрохимических модулей [Юдович, Кетрис, 2000; Интерпретация геохимических … , 2001] и индикаторных отношений отдельных элементов, среди которых особое внимание уделялось Al, K, Ti, Rb, Sr, Y, Zr, Ba. Оптимальный для идентификации блоков сырья геохимический индикатор

выбирался на основе сравнительного анализа полученных данных и результатов визуальной диагностики горных пород с использованием бинокулярного микроскопа, которая была проведена до начала измерений.

Результаты

В процессе визуальной диагностики сырья, использовавшегося для изготовления разных артефактов, было выделено несколько групп, среди которых такие метаморфические, метаосадочные и осадочные породы, как кварциты и кварцито-сланцы, кварцито-песчаники и песчаники, кремнистые сланцы, кристаллические сланцы (с более низким содержанием кремнезема, чем в кварцито-сланцах), а также магматические – гранитоидные и эффузивные.

Для общей характеристики химического состава артефактов и проверки корректности визуальной диагностики пород был проведен анализ данных ПРФА по отношению петрохимических модулей – АМ (алюмокремниевого) и ГМ (гидролизатного) (рис. 3). Результаты в целом подтвердили правильность идентификации пород и продемонстрировали, что к наиболее кремнеземистым (с низкими значениями отношения АМ/ГМ) относятся образцы, определенные как кварциты, кварцито-сланцы и кремнистые сланцы, которые характерны главным образом для коллекции, собранной на местонахождении Бильчир 4 (40 предметов). В коллекции с мельхитуйского пляжа кварциты и кремнистые сланцы также имеются, но гораздо в меньшем количестве (всего 8 предметов), при этом более распространены песчаники и кварцито-песчаники, присутствуют кристаллические сланцы, а также эффузивные породы (в модульную диаграмму АМ-ГМ не включались). В бильчирской коллекции выделен также один гранитоидный образец с содержанием биотита.

На следующем этапе, в поисках лучших вариантов для геохимической дискриминации, были опробованы различные варианты индикаторов, в частности отношения Sr к Zr, Rb, Ba, Y, а также Ti к Al. Все они оказались практически бесполезны для выявления близких по составу образцов, которые были бы сходны по цвету, структуре и текстуре породы. Совпадения отмечались лишь в редких случаях. С опорой на опыт по анализу каменных артефактов с палеолитических местонахождений Горного Алтая [Портативный РФА … , 2023], была предпринята попытка использовать такие индикаторные отношения, как Ti/Zr к Sr/Y, Rb/Nb к Y, Y/Zr к Sr, Rb/Zr к Sr. Однако и они продемонстрировали крайне низкие возможности для решения поставленных задач. Единственным индикатором, который дал результат, стало отношение K/Rb к Al_2O_3. Анализ диаграмм с его значениями позволил выявить 12 групп артефактов, обнаруживающих значительное, вплоть до идентичности, сходство по структуре и текстуре пород. Вероятно, количество таких групп (и/или числа предметов, к ним относящихся) могло быть больше, однако для некоторых образцов содержание K или Rb оказалось ниже предела обнаружения, что не позволило включить их в анализ.

Мельхитуй 2. Для данной коллекции выделено 5 групп из 11 изделий трех видов горных пород: эффузивных, песчаников и кварцито-песчаников (рис. 4):

1) небольшое клювовидное острие и крупное поперечное скребло из желтовато-коричневого среднезернистого песчаника;

2) два небольших острия из светлой желтовато-зеленой эффузивной породы с розоватыми включениями калиевого полевого шпата;

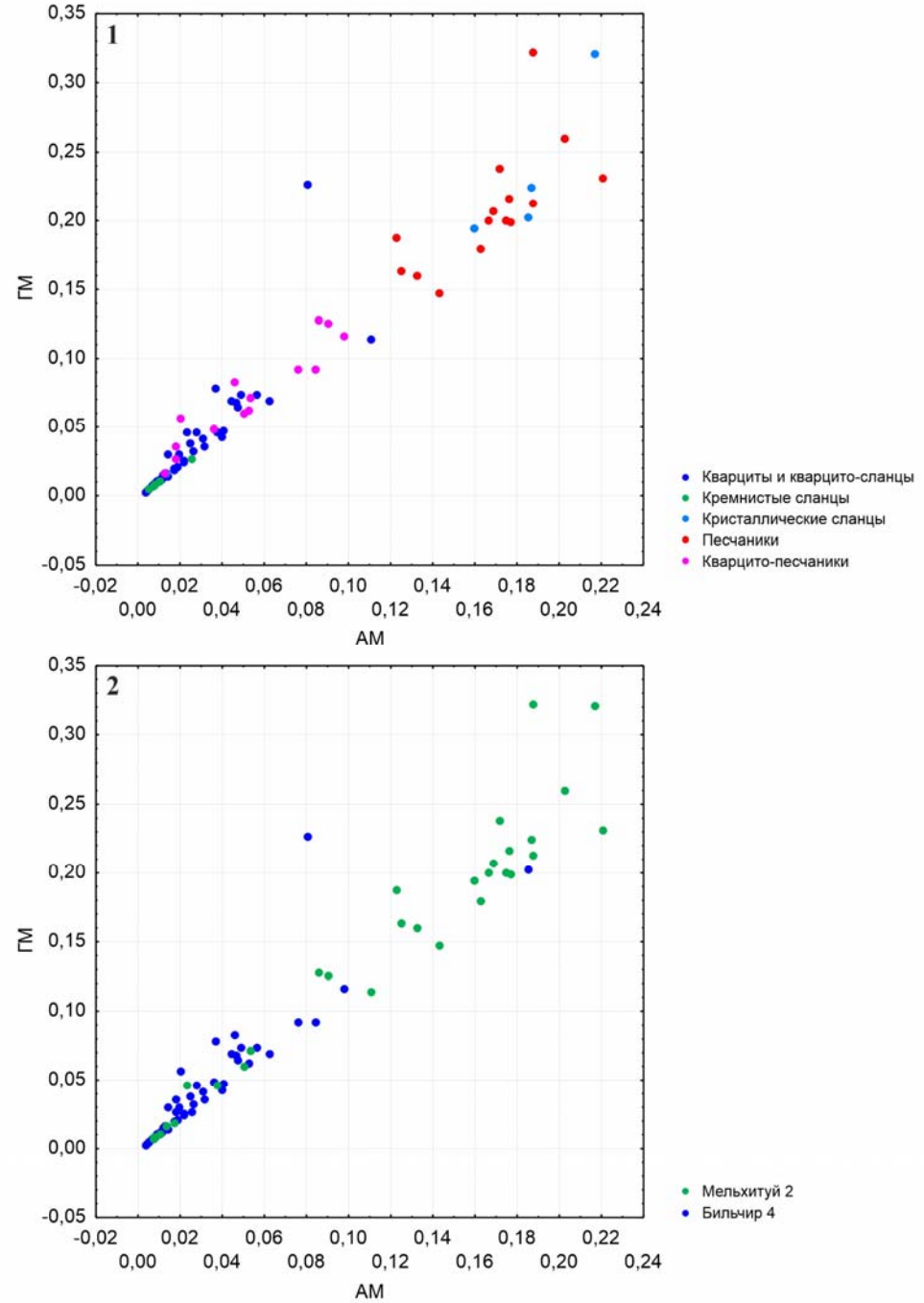

Рис. 3. Диаграммы отношения алюмокремниевого (АМ) и гидролизатного (ГМ) модулей для коллекций каменных артефактов с местонахождений Мельхитуй 2 и Бильчир 4:
1 – распределение артефактов из разного сырья; *2* – распределение по местонахождениям

Fig. 3. Diagrams of the ratio of aluminosilicate (AM) and hydrolysate (HM) modules for collections of stone artifacts from the Melkhitui 2 and Bilchir 4 sites:
1 – distribution of artifacts from different raw materials; *2* – distribution by sites

3) два острия, одно из них небольшое клювовидное, второе – крупное, из светло-коричневой эффузивной породы с розоватыми включениями калиевого полевого шпата;

4) острие средних размеров и массивное унифасиально обработанное рубящее орудие из серо-зеленой эффузивной породы с розоватыми включениями калиевого полевого шпата и выраженной порфировой структурой;

5) три изделия из зеленовато-коричневого мелкозернистого кварцито-песчаника – два крупных острия (одно из них клювовидное) и комбинированное орудие (скребло/острие) средних размеров, – которые не образуют такого плотного скопления, как в предыдущих случаях, но крайне близки по цвету и структуре породы.

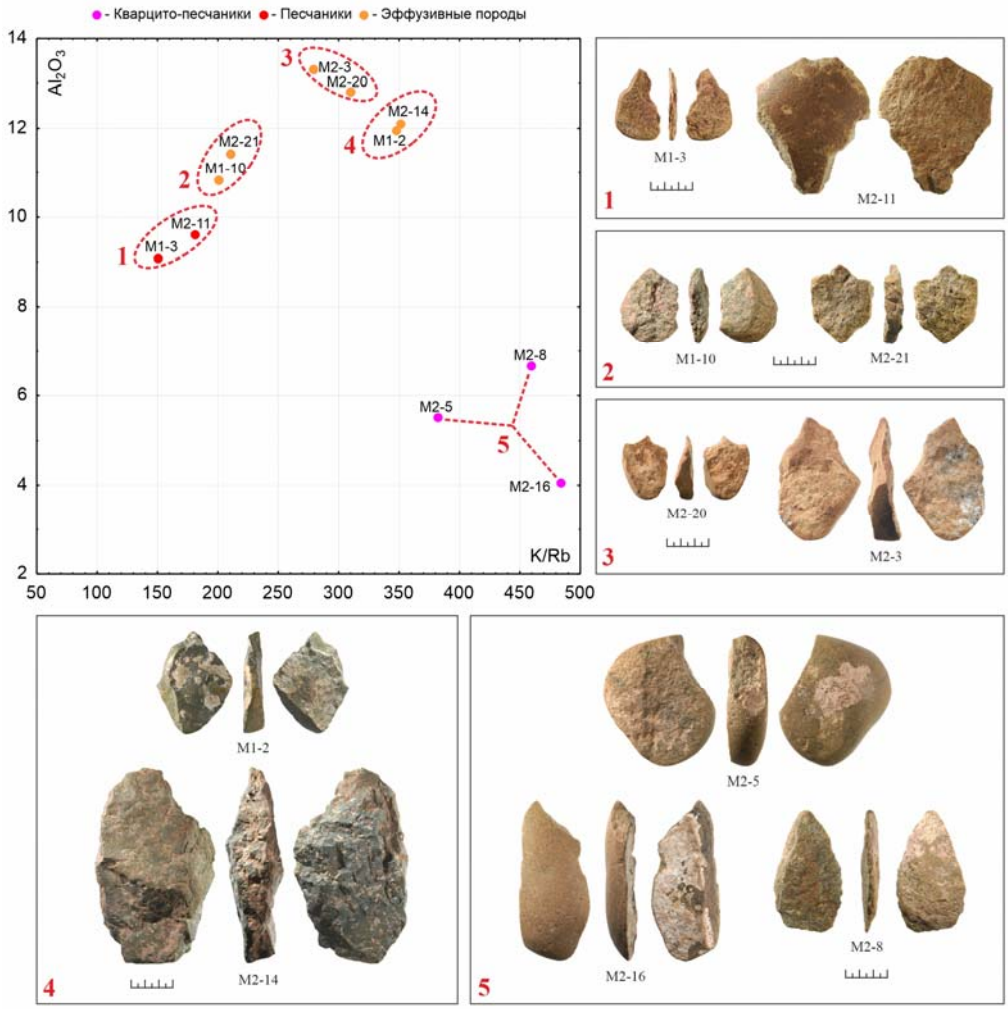

Рис. 4. Местонахождение Мельхитуй 2. Группы артефактов, выделенные на основе распределения значений отношения K/Rb к Al_2O_3

Fig. 4. Melkhitui 2 site. Artifact groups identified based on the distribution of K/Rb to Al_2O_3 ratio values

В некоторых случаях наблюдается группировка охарактеризованных образцов и по другим индикаторам, но далеко не во всех случаях. В частности, орудия из групп 1 и 5 сближаются по показателям Sr/Rb, а два орудия (М2-5 и М2-16) из группы 5 – еще и по значениям соотношения Sr/Zr.

Бильчир 4. В бильчирской коллекции удалось выделить 7 групп из 14 артефактов для двух видов горных пород: кварцитов (включая кварцито-сланцы) и кварцито-песчаников (рис. 5):

1) два крупных комбинированных орудия (скребло/острие) из серо-зеленого мелкозернистого кварцита;

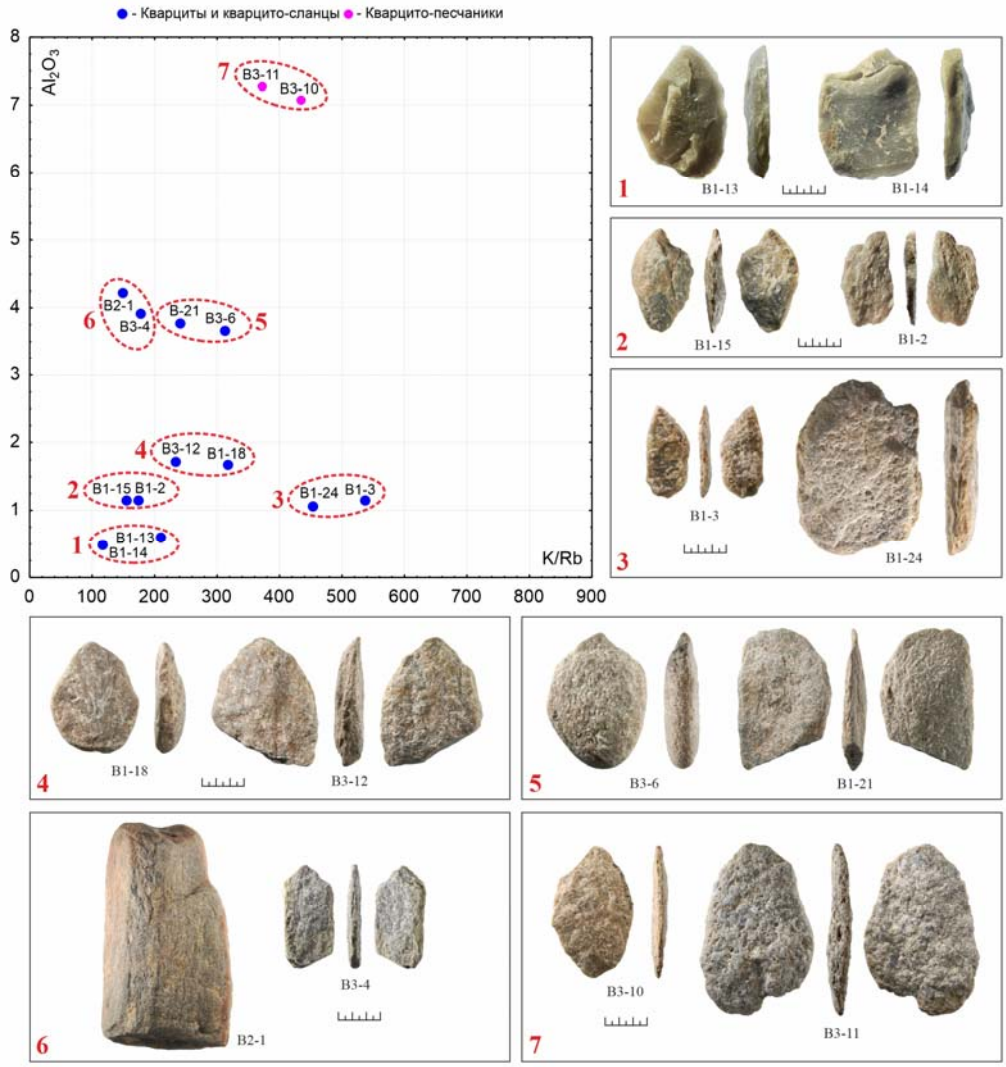

Рис. 5. Местонахождение Бильчир 4. Группы артефактов, выделенные на основе распределения значений отношения K/Rb к Al_2O_3

Fig. 5. Bilchir 4 site. Artifact groups identified based on the distribution of K/Rb to Al_2O_3 ratio values

2) два клювовидных острия средних размеров из неоднородного серо-зеленого с коричневатым оттенком среднезернистого кварцито-сланца;

3) небольшое острие и массивное унифасиальное орудие, морфологически близкое рубилам, из сероватого (со светло-коричневой патиной) среднезернистого кварцито-сланца;

4) комбинированное орудие (скребло/острие) средних размеров и крупное скребло из светлого серо-коричневого среднезернистого кварцито-сланца;

5) крупные острие и скребло из светло-серого (местами коричневатого) среднезернистого кварцито-сланца;

6) массивный отбойник и небольшое острие из серого (с коричневатой патиной) среднезернистого кварцито-сланца;

7) комбинированное орудие (скребло/острие) средних размеров и крупное двойное скребло с выемкой из крупнозернистого кварцито-песчаника светло-коричневого (в первом случае) и сероватого (во втором) оттенка.

Некоторые артефакты в бильчирской коллекции (группы 1 и 5) так же, как и в мельхитуйской, обнаруживают сходство по индикаторам Sr/Zr и Sr/Rb.

Обсуждение и выводы

В процессе подбора подходящего геохимического индикатора для выявления пород, близких по элементному составу и другим характеристикам, установлено, что традиционные петрохимические модули годятся лишь для общей дифференциации коллекций и верификации данных визуальной диагностики. В результате анализа совокупных данных установлено, что сырье, использовавшееся древним населением в районе современного Осинско-Унгинского расширения Братского водохранилища, довольно разнообразно и представлено тремя основными типами горных пород: 1) метаморфическими/метаосадочными – кварцитами, кварцито-песчаниками разной степени метаморфизма и структуры и кристаллическими сланцами; 2) осадочными – в основном песчаниками и незначительным количеством кремнистых сланцев; 3) магматическими, среди которых выделяется один гранитоидный образец, а остальные представляют собой разновидности эффузивных пород (риолитов?). Их происхождение в рамках настоящего исследования мы не обсуждаем, но, учитывая петрографические особенности коллекции, можно предположить, что оно может быть связано с юрскими отложениями, которые имеют широкое распространение в Верхнем Приангарье [Государственная геологическая … , 2009].

Данные по визуальной диагностике пород и модульной диаграмме АМ-ГМ демонстрируют, что обитатели местонахождений Бильчир 4 и Мельхитуй 2 использовали разные сырьевые стратегии, что, видимо, было обусловлено степенью доступности и особенностями источников горных пород, пригодных для расщепления и обработки. В первом случае видно, что местное население в основном эксплуатировало относительно качественное кварцитовое сырье (валуны которого можно встретить на пляже и сегодня) и даже кремнистые сланцы, а при их отсутствии выбирались близкие по характеристикам гальки и отдельности кварцито-песчаной породы. Во втором случае наблюдается иная ситуация, которая может свидетельствовать о дефиците высококремнеземистого сырья в данной местности, вследствие чего использовались любые доступные породы, которые хоть как-то удовлетворяли требованиям литопроизводства, включая разнозернистые песчаники и неудовлетворительного качества эффузивы и кристаллические сланцы.

Установлено, что для корректной геохимической дискриминации рассматриваемых коллекций индикаторы с Ti, Rb, Sr, Y, Zr, в том числе варианты, предложенные в качестве основных для верификации метода сырьевых единиц [Портативный РФА … , 2023], работают далеко не так хорошо, как ожидалось, а вот индикатор с калий-рубидиевым отношением и глиноземом продемонстрировал отличный результат, который позволил выделить значительное количество групп артефактов, сходных как по значениям $(K/Rb)/Al_2O_3$, так и по физическим характеристикам. Причем в некоторых случаях мы имеем дело с предметами, изготовленными с большой долей вероятности из одного блока сырья. Это в первую очередь относится к группам 1–4 Мельхитуя 2 и группам 1–4 Бильчира 4. В отношении предметов, вошедших в остальные группы, можно сказать, что они, судя по всему, выполнены из разных блоков пород, но с идентичным генезисом и, вероятно, единой стратиграфической позицией, что позволяет предположить их отбор с одних участков отложений, используемых в качестве сырьевых источников. Например, образцы из группы 5 с местонахождения Мельхитуй 2 близки по всем параметрам, но явно оформлены на отдельных гальках. То же самое можно сказать об изделиях из группы 5 Бильчира 4, хотя они демонстрируют довольно близкие позиции на графике $(K/Rb)/Al_2O_3$, и об артефактах группы 7, но последние отличаются еще и цветом. Отбойник и острие из группы 6 этого же местонахождения также принадлежат разным блокам сырья (к тому же найдены на разных пунктах), но имеют большое сходство по всем характеристикам.

Таким образом, использование данных по отношению K/Rb к Al_2O_3 позволяет выявить как блоки сырья (гальки, валуны, отдельности породы), из которых изготавливались разные артефакты, так и серии таких блоков, близких по содержанию калия, рубидия и глинозема, цвету, структуре и текстуре и имеющих, соответственно, идентичный генезис, что может указывать на отбор их с одних и тех же участков. Все это в совокупности открывает широкие перспективы для определения особенностей адаптационных стратегий и отбора сырья древним населением Приангарья.

В заключение можно отметить, что нам не известны примеры применения индикатора $(K/Rb)/Al_2O_3$ для геохимической дискриминации пород с целью выявления блоков сырья. Возможно, настоящее исследование является первым опытом подобного рода и данную методику желательно проверить в анализе археологических коллекций каменных артефактов из сырья, имеющего разное происхождение.

Благодарности

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

Список литературы

Аргиллитовые артефакты как источник информации о связях населения бассейна Витима в эпоху финального плейстоцена – среднего голоцена / А. В. Тетенькин, В. М. Ветров, Е. И. Демонтерова, Г. В. Пашкова, Е. В. Канева // Археология, этнография и антропология Евразии. 2018. № 2. С. 16–24. https://doi.org/10.17746/1563-0110.2018.46.2.016-024

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Ангаро-Енисейская. Лист N-48. Иркутск. Объяснительная записка. СПб. : Картфабрика ВСЕГЕИ. 2009. 574 с.

Обсидиан в первобытных культурах Дальнего Востока России: геохимическая типизация, коренные источники и особенности распространения /

В. К. Попов, А. В. Гребенников, Я. В. Кузьмин, М. Д. Гласкок // Вестник ОНЗ РАН. 2010. Т. 2. NZ10007. https://doi.org/10.2205/2010NZ000063

Портативный РФА анализатор: новые возможности диагностики каменного сырья и идентификации его источников, оценки валидности применения метода сырьевых единиц / А. В. Вишневский, Н. Е. Белоусова, А. В. Лавренчук, П. А. Неволько // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. 2023. Т. 29. С. 90–96.

Интерпретация геохимических данных : учеб. пособие / ред. Б. В. Скляров. М. : Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с

Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Основы литохимии. СПб. : Наука, 2000. 479 с

Acquafredda P., Muntoni I. M., Pallara M. Reassessment of WD-XRF method for obsidian provenance shareable databases // Quaternary International. 2017. Vol. 468. P. 169–178. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.08.020.

Högberg A., Hughes R., Olausson D. Chemical and visual analysis of flint from Gotland and Öland. Fornvännen. 2016. Vol. 111. P. 145–152.

Integration of Obsidian Compositional Studies and Lithic Reduction Sequence Analysis at the Upper Paleolithic Site of Ogachi-Kato 2, Hokkaido, Japan / M. Izuho, J. R. Ferguson, M. D. Glascock, N. Oda, F. Akai, Y. Nakazawa, H. Sato // Methodological Issues for Characterisation and Provenance Studies of Obsidian in Northeast Asia / ed. by A. Ono, M. D. Glascock, Y. V. Kuzmin, Y. Suda. BAR International Series 2620. Archaeopress, Oxford, 2014. P. 125–142.

Geochemical source evaluation of archaeological chert from the Carson mounds site in northwestern Mississippi using portable X-ray fluorescence (pXRF) / J. M. Mehta, G. McCall, T. Marks, J. Enloe // Journal of Archaeological Science: Reports. 2017. Vol. 11. P. 381–389. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.12.014

Tykot R. H., Martin F. F. Analysis by pXRF of Prehistoric Obsidian Artifacts from Several Sites on Ustica (Italy): Long-Distance Open-Water Distribution from Multiple Island Sources During the Neolithic and Bronze Ages // Open Archaeology. 2020. Vol. 6, N 1. P. 348–392. https://doi.org/10.1515/opar-2020-0118

Handheld XRF for Art and Archaeology / ed. by A. N. Shugar, J. L. Mass. Leuven: Leuven University Press, 2012. 480 p.

Phillips C., Speakman R. J. Initial source evaluation of archaeological obsidian from the Kuril Islands of the Russian Far East using portable XRF // Journal of Archaeological Science. 2009. Vol. 36. P. 1256–1263.

Sheppard P., Trichereau B., Milicich C. Pacific Obsidian Sourcing by Portable XRF // Archaeology in Oceania. 2010. N 45. P. 21–30.

Evaluating the applicability of portable-XRF for the characterization of Hokkaido Obsidian sources: a comparison with INAA, ICP-MS and EPMA / S. C. Lynch, A. J. Locock, M. J. M. Duke, A. W. Weber // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2016. Vol. 309. P. 257–265. https://doi.org/10.1007/s10967-016-4766-9

References

Acquafredda P., Muntoni I. M., Pallara M. Reassessment of WD-XRF method for obsidian provenance shareable databases. *Quaternary International*. 2017, Vol. 468, pp. 169–178. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.08.020.

Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tretie pokolenie). Seriya Angaro-Eniseiskaya. List N-48. Irkutsk. Obyasnitelnaya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). Angara-Yenisei series. Sheet N-48 – Irkutsk. Explanatory Note]. Saint Petersburg, VSEGEI Card Factory, 2009, 574 p. (In Russ.)

Högberg A., Hughes R., Olausson D. *Chemical and visual analysis of flint from Gotland and Öland. Fornvännen*. 2016, Vol. 111, pp. 145–152.

Izuho M., Ferguson J. R., Glascock M. D., Oda N., Akai F., Nakazawa Y., Sato H. Integration of Obsidian Compositional Studies and Lithic Reduction Sequence Analysis at the Upper Paleolithic Site of Ogachi-Kato 2, Hokkaido, Japan. *Ono A., Glascock M. D., Kuzmin Y. V., Suda Y. (eds.) Methodological Issues for Characterisation and Provenance Studies of Obsidian in Northeast Asia*. BAR International Series 2620. Oxford, Archaeopress, 2014, pp. 125–142.

Lynch S. C., Locock A. J., Duke M. J. M., Weber A. W. Evaluating the applicability of portable-XRF for the characterization of Hokkaido Obsidian sources: a comparison with INAA, ICP-MS and EPMA. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2016, Vol. 309, pp. 257–265. https://doi.org/10.1007/s10967-016-4766-9

Mehta J. M., McCall G., Marks T., Enloe J. Geochemical source evaluation of archaeological chert from the Carson mounds site in northwestern Mississippi using portable X-ray fluorescence (pXRF). *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2017, Vol. 11, pp. 381–389. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.12.014

Phillips C., Speakman R. J. Initial source evaluation of archaeological obsidian from the Kuril Islands of the Russian Far East using portable XRF. *Journal of Archaeological Science*. 2009, Vol. 36, pp. 1256–1263.

Popov V. K., Grebennikov A. V., Kuzmin Ya. V., Glascock M. D. Obsidian v pervobytnykh kulturakh Dalnego Vostoka Rossii: geokhimicheskaya tipizatsiya, korennye istochniki i osobennosti rasprostraneniya [Obsidian in Prehistoric Cultures of the Russian Far East: Geochemical Typification, Primary Sources, and Peculiarities of Distribution]. *Vestnik Otdeleniya Nauk o Zemle RAN.* 2010, Vol. 2, NZ10007. https://doi.org/10.2205/2010NZ000063 (In Russ.)

Sheppard P., Trichereau B., Milicich C. Pacific Obsidian Sourcing by Portable XRF. *Archaeology in Oceania*. 2010, Vol 45, pp. 21–30.

Shugar A. N., Mass J. L. (eds.). *Handheld XRF for Art and Archaeology*. Leuven, Leuven University Press, 2012, 480 p.

Sklyarov B. V. (Ed.) *Interpretatsiya geokhimicheskikh dannykh: uchebnoe posobie [Interpretation of Geochemical Data: A Tutorial]*. Moscow, Intermet Inzhiniring Publ., 2001. 288 p. (In Russ.)

Tetenkin A. V., Vetrov V. M., Demonterova E. I., Pashkova G. V., Kaneva E. V. Argillite Artifacts and Final Pleistocene to Middle Holocene Cultural Links Across the Vitim River Basin (Baikal Region). *Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia.* 2018, Vol. 46, Is. 2, pp. 16–24. https://doi.org/10.17746/1563-0110.2018.46.2.016-024 (In Russ.)

Tykot R. H., Martin F. F. Analysis by pXRF of Prehistoric Obsidian Artifacts from Several Sites on Ustica (Italy): Long-Distance Open-Water Distribution from Multiple Island Sources During the Neolithic and Bronze Ages. *Open Archaeology*. 2020, Vol. 6, Is. 1. pp. 348–392. https://doi.org/10.1515/opar-2020-0118

Vishnevsky A. V., Belousova N. E., Lavrenchuk A. V., Nevolko P. A. Portativnyi RFA analizator: novye vozmozhnosti diagnostiki kamennogo syrya i identifikatsii ego istochnikov, otsenki validnosti primeneniya metoda syrevykh edinits [P ortable XRF Analyzer: New Opportunities for Identifying Stone Raw Materials and Their Sources, and Assessing Validity of Using the Analysis of Raw Material Units]. *Problems of Archaeology, Ethnography, Anthropology of Siberia and Neighboring Territories.* 2023, Vol. 29, pp. 90–96. (In Russ.)

Yudovich Ya. E., Ketris M. P. *Osnovy litokhimii [Fundamentals of Lithochemistry]*. Saint Petersburg, Nauka Publ., 2000, 479 p. (In Russ.)

Информация 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, 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