**УДК 902.904 (574)**
**МРНТИ 03.41.91**

https://doi.org/10.52967/3007-6528.2024.2.297.307

# «Карта кривизны» и другие шейдеры для трехмерных моделей артефактов

**© 2024 г. Антонов М.А., Мамиров Т.Б., Аминова Р.Н., Воловенко В.Д., Ескендиров К.З.**

***Keywords:*** *archaeology, traceology, 3D analysis, interdisciplinary research, stone artifacts, software*
***Түйін сөздер:*** *археология, трасология, 3D талдау, пәнаралық зерттеулер, тас артефактілер, бағдарламалық қамтамасыз ету*
***Ключевые слова:*** *археология, трасология, 3D анализ, междисциплинарное исследования, каменные артефакты, программное обеспечение*

***M. Antonov[1], T. Mamirov[1]*, R. Aminova[1], V. Volovenko[1] and K. Yeskendirov[1]***
*[1]Margulan Institute of Archaeology, Almaty, Kazakhstan*
**Corresponding author*

## “Curvature map” and other shaders for 3D models of artifacts

This publication provides examples of using the “curvature map” overlay method for studying archaeological artifacts. This function offers additional opportunities for examining certain features of an object’s shape or traces of impact on it. The article serves as a detailed methodological “guide” for working with artifacts in various software environments. Three stone artifacts, differing in shape, volume, and usage characteristics, were selected as examples. The analyzed items include a three-dimensional Levallois core from the Paleolithic era, a flat stone slab, and a three-dimensional stone pestle from the Paleometal period. As part of the project implementation, the research team digitizes the stone artifacts and creates an electronic database for potential remote work with the artifacts. Three-dimensional modeling offers significant potential for working with archaeological materials and is actively used in foreign archaeology. The step-by-step instructions provided by the authors for using specific software will enable users to quickly acquire this skill. The methodology described in the publication presents new opportunities for working with artifacts made from various materials.
**Source of funding:** The publication was carried out within the framework of granted financing of the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan for 2022–2024, project IRN AP14872494.
**Citation:** Antonov, M., Mamirov, T., Aminova, R., Volovenko, V., Yeskendirov, K. 2024. “Curvature map” and other shaders for 3D models of artifacts. *Margulan readings–2024.* In 2 vol. Vol. 2. Pp. 297–307 (in Russian).

***М.А. Антонов[1], Т.Б. Мамиров[1]*, Р.Н. Аминова[1], В.Д. Воловенко[1], Қ.З. Ескендиров[1]***
*[1]Ә.Х. Марғұлан атындағы Археология институты, Алматы қ., Қазақстан*
**корреспондент авторы*

## Артефактілердің үшөлшемді модельдеріне арналған «қисықтық картасы» және басқа бағдарламалары

Бұл мақалада археологиялық артефактілерді зерттеуге арналған «қисықтық картасы» әдісін қолданудың үлгілері берілген. Аталмыш функция объектінің кейбір ерекшеліктерін немесе оған әсер ету іздерін жан-жақты зерттеуге мүмкіндік береді. Мақала әртүрлі бағдарламалық қамтамасыз ету арқылы артефактілермен жұмыс істеуге арналған толық әдістемелік «құралдың» үлгісі іспетті. Мысал ретінде пішіні мен көлемі, пайдалану сипаты әртүрлі үш тас артефакт алынды. Палеолит дәуіріне жататын көлемді леваллуа нуклеусы, сондай-ақ жалпақ тас плитка және палеометалл дәуіріне жататын көлемді тас үккіш талданатын зат ретінде таңдалды. Жобаны орындау аясында зерттеу тобы тас артефактілерді цифрлық форматқа ауыстырып, артефактілермен

ықтимал қашықтықтан жұмыс істеу үшін электрондық база құрды. Үшөлшемді модельдеуде археологиялық материалмен жұмыс істеуге барынша мүмкіндік берілген, мұндай әдіс шетелдік археологияда белсенді қолданылады. Авторлар ұсынған белгілі бір бағдарламалық қамтамасыз етуді пайдалану бойынша қадамдық нұсқаулық пайдаланушыға осы дағдыны тез меңгеріп алуға мүмкіндік береді. Мақалада сипатталған әдістеме әртүрлі материалдардан жасалған артефактілермен жұмыс істеудің жаңа мүмкіндіктерін ұсынады.

**Қаржыландыру көзі:** Мақала ҚР ҒЖБМ Ғылым комитетінің 2022–2024 жж. арналған гранттық қаржыландыруы шеңберінде, ЖТН AP14872494 жобасы аясында дайындалды.

**Сілтеме:** Антонов М.А., Мамиров Т.Б., Аминова Р.Н., Воловенко В.Д., Ескендиров Қ.З. 2024. Артефактілердің үшөлшемді модельдеріне арналған «қисықтық картасы» және басқа бағдарламалары. *Марғұлан оқулары–2024.* 2 том. 2-т. 297–307-бб. (Орысша).

***М.А. Антонов[1], Т.Б. Мамиров[1]*, Р.Н. Аминова[1], В.Д. Воловенко[1], К.З. Ескендиров[1]***
*[1]Институт археологии имени А.Х. Маргулана, г. Алматы, Казахстан*
**автор-корреспондент*

## «Карта кривизны» и другие шейдеры для трехмерных моделей артефактов

В данной публикации приведены примеры использования метода наложения «карты кривизны» для исследования археологических артефактов. Данная функция предоставляет дополнительные возможности в изучении некоторых особенностей формы объекта или же следов воздействия на него. Статья представляет собой пример подробного методического «пособия» по работе с артефактами в различных программных обеспечениях. В качестве примера были взяты три каменных артефакта, различных по форме и объему, характеру использования. Анализируемые предметы представлены объемным нуклеусом леваллуа палеолитического времени, а также плоской каменной плиткой и объемным каменным пестом эпохи палеометалла. В рамках реализации проекта, каменные артефакты исследовательской группой переводятся в цифровой формат, и создается электронная база и для возможной дистанционной работы с артефактами. Трехмерное моделирование имеет огромные возможности для работы с археологическим материалом, и активно используются в зарубежной археологии. Представленная авторами пошаговая инструкция в использовании того или иного программного обеспечения позволит пользователю быстро освоить данный навык. Описанная в публикации методика, представляет новые возможности для работы с артефактами из различных материалов.

**Источник финансирования:** Статья подготовлена в рамках грантового финансирования Комитета науки МНВО РК 2022–2024, ИРН проекта AP14872494.

**Цитирование:** Антонов М.А., Мамиров Т.Б., Аминова Р.Н., Воловенко В.Д., Ескендиров Қ.З. 2024. «Карта кривизны» и другие шейдеры для трехмерных моделей артефактов. *Маргулановские чтения–2024.* В 2-х т. Т. 2. С. 297–307.

### Введение

Построение карты кривизны (доступная функция в различном программном обеспечении (далее – ПО)) на основе трёхмерной модели является незаменимым инструментом, позволяющим исследовать археологические артефакты и визуализировать особенности их поверхности [Колобова и др. 2020: 246]. Например, тщательность первичной и вторичной обработки каменного артефакта. После применения данного метода «полированные» или шероховатые поверхности модели какой-либо «скульптуры» будут отображаться различными оттенками по цветовой шкале [Лукпанова и др. 2023: 184]. Также возможно использование карты кривизны для «контрастирования» на поверхности модели артефакта царапин, рельефа, барельефа, штампов, а также узора или надписей, нанесённых на объект методом гравировки, выбивкой или выдавливанием (например, клинопись [HubertMaraetAll. 2010]). Для работы с трёхмерными моделями артефактов каменного века ниже описанные варианты исполнения данного метода могут быть применимы для визуализации особенностей артефактов, таких как их форма, характер нанесения сколов, границ негативов снятий, вторичной обработки [HubertMaraetAll. 2010].

Перед пошаговым описанием использования различного ПО, стоит отметить, что важным является используемый формат файлов трёхмерных моделей. Существуют различные виды, которые весьма популярны, например, такие как FBX или OBJ, однако наиболее распространенными, на наш взгляд, в сфере научных исследований являются форматы DAE и PLY. Для работы с различным ПО, описанным ниже, авторы рекомендуют последний. Создание трёхмерной модели как виртуального дубликата оригинального предмета может быть результатом применения метода лазерного сканирования или же с помощью фотограмметрии, используемой авторами данной публикации. Методы создания карты кривизны будут подробно описаны для различного ПО, такого как MeshLab, GigaMesh и Blender. Описание метода работы с первыми двумя ПО (в отличие от Blender), рассчитаны для начинающих пользователей.

**Методика исследования**

MeshLab (используемая авторами версия ПО: v2023.12) – бесплатное, кроссплатформенное программное обеспечение с открытым исходным кодом, разработанное в Пизанском университете как курсовая работа в 2005 г. [Meshlab software]. Однако и до настоящего времени данное ПО активно обновляется, получая, помимо исправлений, различные дополнительные возможности, сам дистрибутив доступен для скачивания на GitHub [Repository of Meshlab].

Для создания карты кривизны необходимо загрузить модель в MeshLab:(File>Importmesh). Теперь, вращая объект с помощью мыши, можем осмотреть его со всех сторон. По умолчанию вид в окне программы с перспективой (это можно заметить по надписи «FOV» в нижней левой части окна MeshLab), для переключения в ортографический вид: View>ToggleOrthographicCamera. Если у модели присутствует текстура, то нужно отключить ее видимость. Для этого на панели «LayerDialog» (по умолчанию она расположена справа, если ее нет то включить можно: View>ShowLayerDialog), выбрав закладку Triange (гладкий цилиндр), переключаем настройки: Shading: Vert, Color: Vert, Back-Face: Double, TextureCoord: Off). Для получения карты кривизны: Filters > Color Creation and Processing > Colorize Curvature (APSS). Далее появится окно настройки фильтра, зачастую настроек по умолчанию вполне достаточно, однако пользователь может попробовать оптимизировать настройки или поменять тип кривизны (Curvaturetype). После нажатия кнопки «Apply» начнется процедура, а после ее завершения вертексы трёхмерной модели приобретут новые окраски. Полученную карту кривизны можно считать готовой, однако MeshLab позволяет сделать некоторые настройки цветов и их распределение, что существенно преобразит результаты. Для этого необходимо открыть окно QualityMapperDialog: Edit>QualityMapper (или кнопка виде разноцветного кролика на верхней панели программы). В открывшемся окне есть множество настроек, с помощью кнопки «Apply» можно включить нанесение и отображение изменений в реальном времени. Для начинающих пользователей, достаточно воспользоваться эквалайзером, к примеру: переместить три метки на ту область где отображена гистограмма или растравить вокруг нее. Теперь необходимо экспортировать копию модели: File>ExportMeshAs. Важно отметить, что, экспортировав модель в формат PLY, мы получим модель с окрашенными вертексами, но стой же привязанной текстурой (если такова была до начала выше перечисленных процедур). Для дальнейшей работы этого вполне достаточно, однако карту кривизны модели можно также «конвертировать» в текстуру (растровое изображение), для этого перед экспортированием модели необходимо сделать следующие: Filters>Texture>Transfer: VertexColortoTexture. В открывшимся окне указываем новое имя текстуры и выставляем размер (минимальный рекомендуемый размер: 4096×4096), отмечаем: FillTexture, нажимаем кнопку «Apply». Теперь повторим процедуру экспорта новой копии модели, с новой текстурой: File>ExportMeshAs. Двухмерное изображение можно также получить в MeshLab, для этого выставим нужный вид объекта на экране и экспортируем изображение: File>Snapshot. Цвет

фона можно поменять при экспорте или изменить в настройках: Tools>Options (backgoundBotColor и backgoundTopColor).

Для примера использования функций ПО MeshLab был выбран образец в виде нуклеуса (рис. 1, *1*). Нуклеус леваллуа вееровидной формы из крупной гальки (порфирит черного цвета) (125×152×84 мм), который предназначался для снятия треугольных отщепов, был обнаружен на останце в южной части г. Талгар. Сама модель с отключенной текстурой (рис.1,*2*) даёт возможность распознать множество деталей, не передаваемые фотографией или же текстурированной моделью. Результат анализа карты кривизны в программе MeshLab отображен на (рис. 1, *3*). На полученном изображении четко видны грани негативов снятий сколов и характер, и направления сколов. Данное изображение информативно как для понимания архитектуры объекта, так и для других дальнейших исследований.

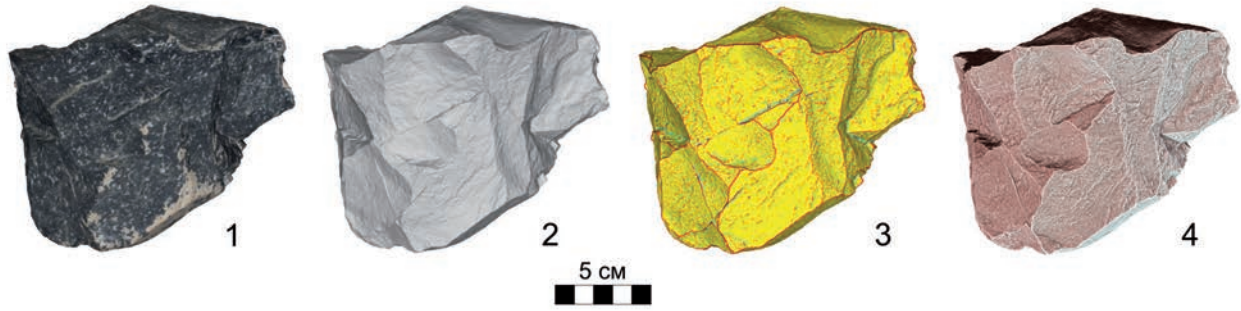



Рис. 1. Трехмернная модель нуклеуса:*1* – с текстурой; *2* – без текстуры;
*3* – с примененной картой кривизны в MeshLab; *4* – с использованием шейдера «RadianceScaling» в MeshLab

1-сурет. Нуклеустің үшөлшемді моделі: 1 – текстурамен; 2 – текстурасыз; 3 – MeshLab-та қолданылған қисықтық картасымен; 4 – MeshLab-та қолданылған «RadianceScaling» бағдарламасымен

Fig. 1. Three-dimensional model of a core: *1* – with texture; *2* – without texture;
*3* – with a curvature map applied in MeshLab; *4* – using the “RadianceScaling” shader in MeshLab

Также возможен другой вариант – с помощью MeshLab использовать шейдер для «контрастирования» фактуры объекта. Данная функция не является картой кривизны как таковой, но результат её применения может быть полезным. Из всех имеющийся шейдеров в программе MeshLab лучшим для визуализации неровностей на поверхности является «RadianceScaling». Внимание: этот метод не меняет саму трёхмерную модель (не происходит окрашивание вертексов или полигонов) или текстуру, а только процесс её отображения, соответственно результат не может быть сохранен в PLY формате, однако само полученное изображение дает возможность экспортирования результата в виде растровой картинки. Для этого, импортировав трехмерную модель: (File>Importmesh), с помощью мыши вращаем модель для отображения нужной стороны. Если по умолчанию используется вид с перспективой (в нижней части экрана, можно увидеть надпись «FOV:», то необходимо переключится на ортографический вид (View>ToggleOrthographicCamera). Теперь, если у модели присутствует текстура, необходимо отключить ее видимость. Для этого на панели «LayerDialog» (по умолчанию она расположена справа, если её нет, то включить можно: View>ShowLayerDialog), выбрав закладку Triange (гладкий цилиндр), переключаем настройки рендеринга на следующие варианты: Shading: Face, Color: Mesh, Back-Face: Double, TextureCoord: Off). Теперь включаем сам шейдер: Render>Shaders>RadianceScaling. Для оптимальной контрастности фактуры переключаем

DisplayMode (в открывшимся окне настройки шейдера): LitSphereRadianceScaling (другой режим: LimbertianRadianceScaling может быть наложен поверх результатов расчёта карты кривизны, описанных выше). Включив «Use 2 LitSpheres», можем регулировать настройки. Также в данном режиме открывается возможность использования пользовательского варианта окраски выпуклости и вогнутости поверхности модели. Для этого необходимо подготовить два небольших изображения (например, формат JPG, размер 100×100 пикселей), с различными цветами виде градиента (к примеру, градиентная заливка снизу вверх: первый от чёрного к зелёному, второй – от чёрного к красному) и загрузить данные растры вместо изображений по умолчанию (два образца в виде «сфер»: Convexities, Concavities). Теперь, выставив в нужном положении объекта на экране, можно экспортировать полученное изображение: File>Snapshot. Цвет фона можно выбрать при экспортировании или изменить в настройках: Tools>Options (backgoundBotColor и backgoundTopColor).

Результат применения шейдера «RadianceScaling» с помощью MeshLab (градиенты по умолчанию) отображен на (рис. 1, *4*). Фактура нуклеуса и его неровности видны чётче, чем на изображении модели без текстуры (рис. 1, *2*). Данный шейдер отличается тем, что его использование без дополнительных настроек не занимает много времени, а его применение происходит без каких-либо длительных расчетов, выполняемых компьютером, т.е. моментально.

GigaMesh (используемая авторами версия ПО: v.240115). Бесплатное программное обеспечение для анализа археологических объектов, таких как таблички с клинописью, керамические сосуды, данные LiDAR и много другие [GigaMesh software]. Доступна для скачивания для различных операционных систем на официальном сайте [GigaMesh software (official website)], а открытый исходный код доступен на GitLab [Repository of GigaMesh].

При открытии файла модели, если размер модели слишком мал, то программа сразу об этом предупредит, отобразив окно с заголовком «Rescalemesh», предлагая пользователю изменить размер модели, т.е. во сколько раз её нужно увеличить, данная функция добавлена в программу начиная с версии v.191219). Открыв модель, можно сразу переходить к анализу, но для начала пользователю нужно сделать выбор, на чём будет акцентироваться внимание (например,мелкие царапины, выщербины, выбоины или особенности самой формы объекта). Результат анализа и время его исполнения зависит от указанного радиуса, для этого можно указать число при старте процедуры или же вручную маркировать интересующую область на поверхности модели объекта. Чем больше радиус, тем больше времени понадобится для обработки (рекомендуется попробовать несколько вариантов радиуса), а также на быстродействие процедуры расчета карты кривизны, влияет количество вертексов у самой модели и технические характеристики компьютера пользователя. Вращая объект с помощью мыши, находим на его поверхности интересующие детали, для этого можно отключить текстуру- панель (по умолчанию справа) Colormap: SolidColor, Rendering: Solid. Теперь необходимо отметить участок на самом объекте: Select>Position-SelPrims. Удерживая клавишу Ctrl, двумя нажатиями левой клавиши мыши указываем ширину интересующей области на поверхности модели (например, ширину края негатива скола каменного орудия или какая-либо царапина на керамическом сосуде и т.д.). Установив два маркера, можно приступать к анализу (если маркеры нужно установить заново, то необходимо удалить старые: Select>Position-SelPrims-DeselectAll). Сам процесс анализа может занять минуты или десятки минут, для старта процесса: Analyze>MSII FeatureVectorsandFunctionVolue, после этого будет показано окно (Enterradius), где будет представлен радиус, указанный пользователем маркерами, в следующем окне (Savefile) будут рекомендации сохранить файл (согласившись, пользователь получит копию модели автоматически т.е. результаты анализа будут записаны как отдельный файл, не переписывая оригинал), после этого начнутся вычисления. По завершению GigaMesh отобразит три окна: Model ID, ModelMaterial

и сообщение о том, как называется новый, полученный файл. Теперь анализ готов, можно экспортировать изображение, однако данное ПО дает дополнительные возможности для смены и настройки цветовой шкалы. В верхней части списка меню «Colorramp» можно переключать используемые цвета, например: Colorramp>Morgensteming или Colorramp>Parula. Выбрав цветовую шкалу, можно настроить её распределение: Colorramp>QuantilMin и Colorramp>QuantilMax. Для экспортирования, выставив одну из нужных сторон объекта (вращение модели с помощью мыши), переходим в настройки: Settings>OrthoScale (Set DPI), в открывшимся окне указываем число DPI от которого будет зависеть качество изображения. Теперь экспортирум: File>ExportSreenshots>Screen shotsViews (PNG).

Для образца применения анализа MSII с помощью программы GigaMesh был выбран артефакт – каменная плитка, случайная находка, обнаруженная в ущелье возле палеолитического местонахождения в районе поселка им. Т. Рыскулова в Талгарском районе (рис. 2, *1*). Сами результаты анализа отображены на (рис. 2, *3*), с помощью контрастных цветов распознаются следы воздействия человека, а также одна из выбоин показана с измененной цветовой шкалой и её настроек (рис. 2, *4*).

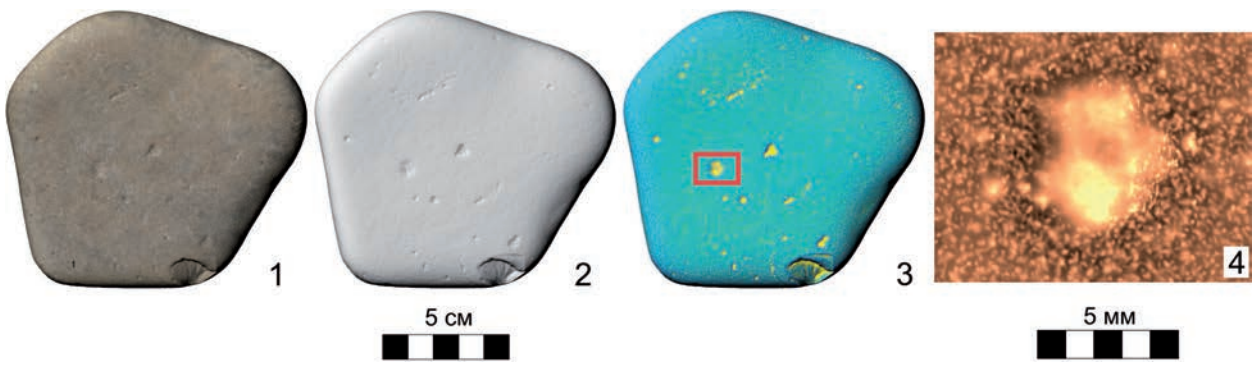



Рис. 2. Трехмерная модель каменной плитки: *1* – с текстурой; *2* – без текстуры; *3* – результаты анализа MSII (цветовая шкала «Parula»); *4* – результаты анализа MSII, одна из выбоин на плите (цветовая шкала «Copper»)

2-сурет. Тас плитканың үшөлшемді моделі: *1* – текстурамен; *2* – текстурасыз; *3* – MSII талдау нәтижелері («Parula» түс шкаласы); 4 – MSII талдау нәтижелері, плитадағы ойықтардың бірі («Copper» түс шкаласы)

Fig. 2. Three-dimensional model of a stone slab: *1* – with texture; *2* – without texture; *3* – results of MSII analysis (color scale “Parula”); *4* – results of MSII analysis, one of the indentations on the slab (color scale “Copper”)

Карту кривизны, также можно использовать в Blender (используемая авторами версия ПО: v.4.0.0). Blender бесплатное, открытое ПО, доступное для пользователей различных операционных систем (Windows, Linux, macOS) [Blender software].

Далее будут рассмотрены два варианта создания карты кривизны для импортированной в Blender модели. Описанные ниже методы предназначены для тех пользователей, которые знакомы с интерфейсом редактора Blender и основами работы с ним. С помощью нодов (далее – узлы) будет строится карта кривизны, однако пользователь может дополнять или упрощать представленные ниже схемы на своё усмотрение. Принцип работы заключается в том, что внутренние и наружные

углы на поверхности модели получат разный окрас, что даёт возможность отображать не только некоторые особенности геометрии исследуемого объекта, но и степень шероховатости на разных его участках.

Заранее стоит отметить, что используемые схемы узлов работают только при рендере Cycles и не отображаются в режиме препросмотра материала (materialpreviewmode), только в предосмотре рендера (renderpreview). Выделив модель, удаляем старый материал и создаем новый в Shadereditor. Удаляем все узлы кроме «MaterialOutput» (можно также оставить узел «Principled BSDF» и подключать новые узлы к его порту BaseColor, это даст возможность наложение карты кривизны с отображением теней и бликов). В настройках рендера выбираем «Cycles». Теперь создаём три новых узла: «Geometry», «ColorRamp» и «Hue/Saturation/Value. Соединяемузлыпортами: «Geometry» (Pointiness) – (Fac) «Color Ramp» (Color) – (вход Color) «Hue/Saturation/Value» (выход Color) – (Surface) «Material Output». Теперь необходимо настроить узел «ColorRamp» (границы данного узла можно растянуть по горизонтали, это немного облегчит настройку). Цветовой режим: HSV, цветовая интерполяция: Far. Две метки цветов (или более) необходимо сблизить к друг дугу около центра цветовой шкалы, в них разные цвета (например, зелёный и красный). Если все сделано правильно (рис. 3,*1*), пользователь увидит изменения на поверхности модели. Подобрав наилучший вариант разных цветов и положения меток, можно воспользоваться дополнительными настройками в узле «Hue/Saturation/Value». Также перед узлом «MaterialOutput» (или перед узлом «Principled BSDF», если он не был удален) можно добавить такие узлы, как «RGB Curves» и «Gamma» для дополнительных настроек.

Второй вариант в Blender немного сложнее. Данная схема узлов позволяет делать больше настроек тех же цветов и их распределения по поверхности модели. Также, как и первый вариант (выше описанный), это работает только с рендером Cycles, а также виден только при режиме предосмотраредера (renderpreview). Создав новый материал в Shadereditor, удаляем все узлы кроме «MaterialOutput». К нему можно сразу подсоединить узел «MixShader» (Shader) – (Surface) «MaterialOutput». Теперь в рабочем пространстве, немного в стороне создаем блок узлов «А» (рис. 3,*2*): «Geometry», «ColorRamp» и еще один «MixShader». Соединяемихпортами «Geometry» (Pointiness) – (Fac) «Color Ramp» (Color)– (Fac) «Mix Shader». Создаём для этого блока еще два узла «Diffuse BSDF», выставляем цвета для них (например: красный и зелёный). Подсоединяем порты (BSDF) «Diffuse BSDF» к свободным портам (Shader) узла «MixShader» данного блока. В узле «ColorRamp» настройки по умолчанию (цветовой режим: RGB, цветовая интерполяция: Linear, чёрная и белая метка). После этого можно создать блок «Б» (рис. 3,*2*), точно такой-же как предыдущий, только с одним «Diffuse BSDF» узлом (выбрав третий цвет, например, жёлтый) или дублировать имеющийся блок «А» методом копирования, удалив в новом один из узлов «Diffuse BSDF». Выходные порты (Shader) узлов «MixShader» обоих блоков («А» и »Б») подсоединяем к входным портам (Shader) того «MixShader» узла, который уже присоединен к узлу «MaterialOutput». Теперь о настройках всех узлов обоих блоков, важно сблизить черную и белую метку к центру цветовой шкалы на обоих узлах «ColorRamp», а также важен выбор цветов для всех узлов «Diffuse BSDF». Для дополнительных настроек можно добавить узел, например, «Brightness/Contrast» после каждого узла «ColorRamp» (перед узлами «MixShader»).

Каменный пест, объёмной формы, случайная находка из котловины выдувания в песках Малые Барсуки, Актюбинская обл. (рис. 4, *1–2*), использовался как образец для обоих вариантов схемы узлов в редакторе Blender. Оба результата отличаются, например, первый вариант схемы узлов позволил отобразить темно-красным цветом наиболее сглаженные участки на поверхности модели (рис. 4, *3)*, а второй вариант показал эту же область с меньшим «шумом», которого больше на шероховатой поверхности (рис. 4, *4)*.

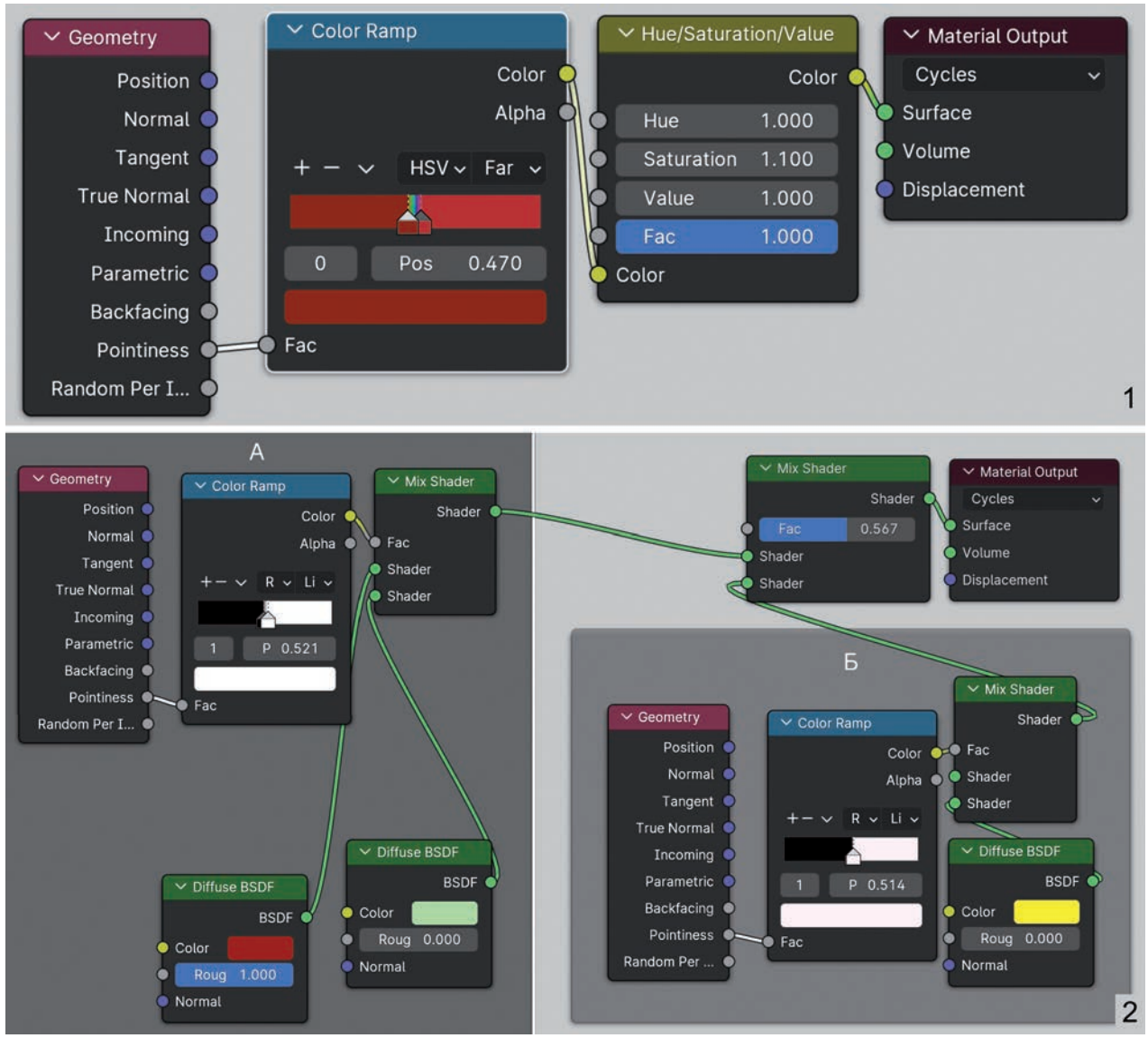



Рис. 3. Схема построения узлов как материал в Blender:
*1* – первый вариант (простой, используется как цвет материала);
*2* – второй вариант (более сложный, используется как шейдер)

3-сурет. Түйіндерді материал ретінде Blender-де құру схемасы:
1 – бірінші нұсқа (қарапайым, материалдың түсі ретінде қолданылады);
2 – екінші нұсқа (анағұрлым күрделірек, көлеңкелеу бағдарламасы ретінде қолданылады)

Fig. 3. Node setup as a material in Blender: *1* – first option (simple, used as a material color);
*2* – second option (more complex, used as a shader)

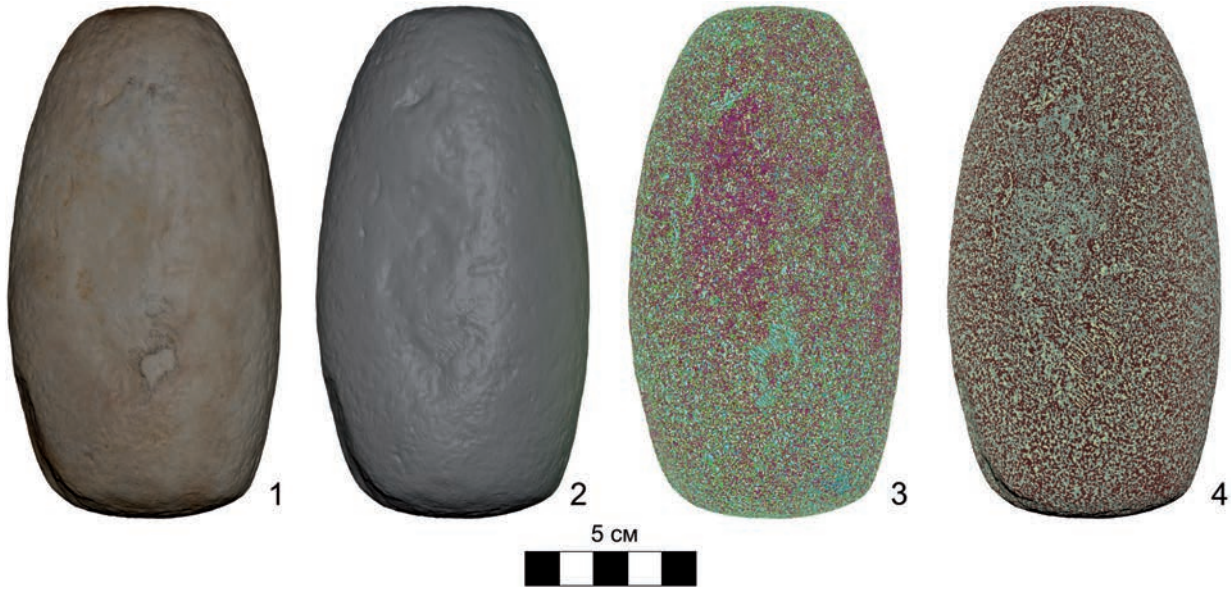



Рис. 4. Трехмерная модель каменного песта: *1* – с текстурой; *2* – без текстуры;
*3* – применение первого варианта узлов; *4* – применение второго варианта узлов

4-сурет. Тас үккіштің үшөлшемді моделі: *1* – текстурамен; *2* – текстурасыз;
*3* – түйіндердің бірінші нұсқасын қолдану; *4* – түйіндердің екінші нұсқасын қолдану

Fig. 4. Three-dimensional model of a stone pestle: *1* – with texture; *2* – without texture;
*3* – application of the first node option; *4* – application of the second node option

**Заключение**

Результаты полученных изображений зависят не только от настроек, но и отличаются при использовании разного ПО, следовательно, рекомендуется опробовать все выше описанные варианты, чтобы добиться нужных результатов. Помимо указанных в статье вариантов ПО, существуют и другие. Среди общедоступных с открытым исходным кодом стоит отметить ПО CloudCompare [CloudCompare software]. Данная программа рассчитана для работы с облаком точек, а также позволяет применять анализ карты кривизны с множеством настроек. Сам метод использования карты кривизны, выполненный различными способами, активно используемый археологами для анализа поверхности трёхмерных моделей, полезен для трасологических исследований не только каменных артефактов, но и артефактов из других материалов, а также для изучения петроглифов, остеологического материала (со следами воздействия и/или обработки), а также для изучения следов воздействия на деталях архитектуры памятников (например лепнина, резной штук обработанный камень и многое другое). Авторы надеются, что описанная выше методика с пошаговым руководством будет полезна для тех, кто мало знаком с использованием данного ПО, а также сыграет важную роль в каких-либо исследованиях археологического материала разных эпох, предоставив новые возможности для заинтересованных.

**ЛИТЕРАТУРА**

1 *Колобова К.А., Шалагина А.В., Чистяков П.В., Бочарова Е.Н., Кривошапкин А.Н.* Возможности применения трехмерного моделирования для исследований комплексов каменного века // Сибирские исторические исследования. 2020. № 4.С. 240–260.

2 *Лукпанова Я., Антонов М., Джумабекова Г., Базарбаева Г.* «Мгновенно убивающий вепрь»: по материалам комплекса сарматского времени Урысай-2 (Западный Казахстан) // Археология Казахстана (Қазақстан археологиясы). 2023. № 1 (19). С. 177–197.

3 Hubert Mara, Susanne Krömker, Stefan Jakob, Bernd Breuckmann. GigaMesh and Gilgamesh-3D Multiscale Integral Invariant Cuneiform Character Extraction // Conference: The 11th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST.Paris. 2010. Pp. 131–138. (DOI: 10.2312/VAST/VAST10/131-138).

4 Meshlab. Система с открытым исходным кодом для обработки и редактирования 3D -полигональной сетки. URL: https://www.meshlabjs.net/ (дата обращения: 01.02.2024).

5 Repository of Meshlab. URL: https://github.com/cnr-isti-vclab/meshlab/releases (дата обращения: 01.02.2024).

6 GigaMesh software. Бесплатное программное обеспечение с открытым исходным кодом для отображения, редактирования и визуализации 3D-данных, обычно получаемых с помощью структурированного света или структуры движения. URL:https://en.wikipedia.org/wiki/GigaMesh_Software_Framework (дата обращения: 01.02.2024).

7 GigaMesh software (official website). . URL:https://gigamesh.eu/downloads (дата обращения: 01.02.2024).

8 Repository of GigaMesh. URL: https://gitlab.com/fcgl/GigaMesh (дата обращения: 01.02.2024).

9 Blender software (official website). URL: https://www.blender.org/download/ (дата обращения: 01.02.2024).

10 CloudCompare software (official website). URL: https://www.cloudcompare.org/ (дата обращения: 01.02.2024).

**REFERENCES**

1 Kolobova, K. A., Shalagina, A. V., Chistjakov, P. V., Bocharova, E. N., Krivoshapkin, A. N. 2020. In *Sibirskie istoricheskie issledovaniya* (*Siberian Historical Research*) 4, 240–260 (in Russian).

2 Lukpanova, Y., Antonov, M., Jumabekova, G., Bazarbayeva, G. 2023. In Kazakstan archeologiyasy (Kazakhstan Archeology) 1 (19), 177–197 (in Russian).

3 Hubert Mara, Susanne Krömker, Stefan Jakob, Bernd Breuckmann. 2010. In: *Conference: The 11th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST*. Paris, 131–138 (in English).

4 Meshlab software . The open source system for processing and editing 3D triangular meshes. URL: https://www.meshlabjs.net/ (accessed 01/02/2024) (in English)

5 Repository of Meshlab. URL: https://github.com/cnr-isti-vclab/meshlab/releases (accessed 01/02/2024).

6 GigaMesh software. Free and open-source software for display, editing and visualization of 3D-data typically acquired with structured light or structure from motion. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/GigaMesh_Software_Framework (accessed 01/02/2024) (in English).

7 GigaMesh software (official website). URL: https://gigamesh.eu/downloads (accessed 01/02/2024) (in English).

8 Repository of GigaMesh. URL:https://gitlab.com/fcgl/GigaMesh (accessed 01/02/2024) (in English).

9 Blender software (official website) URL:https://www.blender.org/download/ (accessed 01/02/2024) (in English).

10 CloudCompare software (official website). URL:https://www.cloudcompare.org/ (accessed 01/02/2024) (in English).

**About the Authors**

**Antonov Mikhail** – Researcher, Margulan Institute of Archaeology, Almaty, Kazakhstan. ORCID: 0000-0002-3742-8401 E-mail: xeofox@mail.ru

**Mamirov Talgat** – Candidate of Historical Sciences, Leading Researcher, Margulan Institute of Archaeology, Almaty, Kazakhstan. ORCID: 0000-0003-2975-0115 E-mail: talgatmamirov@gmail.com

**Aminova Rimma** – Junior Researcher, Margulan Institute of Archaeology, Almaty, Kazakhstan. ORCID: 0009-0000-2292-9759 E-mail: rimma_2008_1994@mail.ru

**Volovenko Vadim** – Laboratory assistant, Margulan Institute of Archaeology, Almaty, Kazakhstan. ORCID: 0009-0008-8114-1118 E-mail: valovenko.vadim@gmail.com

**Eskendirov Kanat** – Laboratory assistant, Margulan Institute of Archaeology, Almaty, Kazakhstan. ORCID: 0009-0002-8404-8783 E-mail: kanat92.09@mail.ru

**Авторлар туралы мәліметтер**
**Антонов Михаил Александрович** – ғылыми қызметкер, Ә.Х. Марғұлан атындағы Археология институты, Алматы, Қазақстан
**Мамиров Талғат Базарбайұлы** – тарих ғылымдарының кандидаты, жетекші ғылыми қызметкер, Ә.Х. Марғұлан атындағы Археология институты, Астана, Қазақстан
**Аминова Римма Николаевна –** кіші ғылыми қызметкер, Ә.Х. Марғұлан атындағы Археология институты, Алматы, Қазақстан
**Воловенко Вадим Дмитриевич** – лаборант, Ә.Х. Марғұлан атындағы Археология институты, Алматы, Қазақстан
**Ескендиров Қанат Зиятұлы** – лаборант, Ә.Х. Марғұлан атындағы Археология институты, Алматы, Қазақстан

**Сведения об авторах**
**Антонов Михаил Александрович** – научный сотрудник, Институт археологии имени А.Х. Маргулана, г. Алматы, Казахстан
**Мамиров Талгат Базарбаевич** – кандидат исторических наук, ведущий научный сотрудник, Институт археологии имени А.Х. Маргулана, г. Астана, Казахстан
**Аминова Римма Николаевна** – младший научный сотрудник, Институт археологии имени А.Х. Маргулана, г. Алматы, Казахстан
**Воловенко Вадим Дмитриевич** – лаборант, Институт археологии имени А.Х. Маргулана, г. Алматы, Казахстан
**Ескендиров Канат Зиятович** – лаборант, Институт археологии имени А.Х. Маргулана, г. Алматы, Казахстан

Мүдделер қақтығысы туралы ақпаратты ашу. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді. /
Раскрытие информации о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. /
Disclosure of conflict of interest information. The authors claim no conflict of interest.
Мақала туралы ақпарат / Информация о статье / Information about the article.
Редакцияға түсті / Поступила в редакцию / Entered the editorial office: 02.04.2024.
Жариялауға қабылданды / Принята к публикации / Accepted for publication: 02.05.2024.
Авторлар жұмысқа бірдей үлес қосты. / Авторы внесли равноценный вклад в работу. /
The authors have made an equal contribution to the work.