

В. В. Казаков

*Новосибирский государственный университет
ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090, Россия*

vkazakov@phys.nsu.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗАДАЧАХ ЛАБОРАТОРИИ МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЕРВОБЫТНОГО ИСКУССТВА ЕВРАЗИИ НГУ

Статья посвящена обзору применения информационных технологий, в том числе 3D-технологий, в современных археологических исследованиях. Описывается опыт и решаемые задачи в Лаборатории мультидисциплинарных исследований первобытного искусства Евразии НГУ. Рассматриваются и сравниваются технологии 3D-моделирования – фотограмметрия, 3D-сканирование на основе структурированного подсвета, лазерное сканирование. Описываются приемы, используемые в лаборатории НГУ для фотограмметрии мелких археологических находок. Рассказывается об опыте 3D-сканирования петроглифов Алтая и задачах, решаемых таким способом документирования наскальных рисунков – в том числе, задаче автоматического выделения рисунка на поверхности. Предлагается решение задачи картографирования первобытных рисунков на основе веб-ресурса на основе базы данных петроглифов и геоинформационной системы с возможностью хранения и отображения трехмерных моделей, как наиболее полного и точного первичного источника информации о наскальном рисунке.

Ключевые слова: 3D-технологии, фотограмметрия, 3D-сканирование, археологические исследования.

Развитие информационных технологий дает новые инструменты для исследований в разных областях науки. Так, использование совместных усилий специалистов в области информационных технологий и ученых-археологов в рамках совместной лаборатории НГУ «Лаборатория мультидисциплинарных исследований первобытного искусства Евразии» (ЛМИПИЕ) позволяет адаптировать существующие в мире технические возможности для гуманитарных исследований.

Основным направлением работы лаборатории является применение 3D-технологий в различных областях археологических исследований, что коррелирует с ведущими мировыми трендами. С недавнего времени технологии 3D-моделирования позволили создавать точные электронные объемные модели объектов как мобильного, так и монументального искусства, дав возможность таким образом обеспечить доступность объектов культурного наследия, в том числе тщательно оберегаемых, широкому кругу пользователей. Так, во Франции были созданы копии уникальных пещер с рисунками (Шове [1], Ласко [2]) в формате электронной 3D-модели, по которым затем были выстроены копии пещер в натуральную величину, что дало возможность демонстрации этих шедевров всему миру в формате локальных выставок.

В определенной степени эти возможности доступны не только специалистам. Одна из наиболее распространенных технологий трехмерного моделирования на основе реальных объектов – фотограмметрия – требует только наличия фотографирующего устройства и специального приложения, преобразующего фотографии предмета, снятые с множества различных углов, в цифровую 3D-модель.

Казаков В. В. Применение информационных технологий в задачах Лаборатории мультидисциплинарных исследований первобытного искусства Евразии НГУ // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Информационные технологии. 2016. Т. 14, № 4. С. 50–57.

Методы оцифровки объемных предметов в электронные 3D-модели известны уже достаточно давно и применяются для построения моделей объектов культурного наследия не первый год [3]. Заметный всплеск интереса к технологиям 3D-сканирования, а в большей степени – к фотограмметрии, проявился в 2015–2016 годах в связи с событиями в Сирийской Пальмире. Тогда в результате целенаправленных преступных действий боевиков террористической организации ИГИЛ были разрушены одни из наиболее известных памятников поздней античности, в том числе Триумфальную арку эпохи Древнего Рима, храм Баала, храм Баалшамина и др. Некоторые из разрушенных памятников к тому времени уже была оцифрована в форме трехмерных моделей, другие – утрачены навсегда. Эта проблема побудила исследователей и любителей со всего мира к сканированию известных объектов культурного наследия для их сохранения в электронном виде, а в случае утраты – для возможности точного воспроизведения.

Относительная доступность технологии фотограмметрии позволяет достаточно качественно оцифровывать объекты от ~5 см до ~2 м при наличии только фотоаппарата, персонального компьютера и специализированного программного обеспечения, в том числе, бесплатного (например, 123dcatch). С помощью дополнительных технических средств можно сканировать и объекты, выходящие за рамки данного диапазона. Так, для фотограмметрии крупных объектов понадобится летающий дрон, а для мелких – специальный макрокомплект.

В основе метода фотограмметрии лежит многократное фотографирование объекта с разных сторон и последующее автоматическое построение по цифровым фотоснимкам трехмерной модели с помощью специальных программных средств. При этом качество модели зависит от количества сделанных снимков, а трудозатраты процесса составляют от 1 до 4 часов для типичного предмета.

Фотограмметрия наряду с другими методами 3D-сканирования нашла активное применение в археологии и музееведении, где трехмерные модели способны существенно заполнить информационный вакуум о существующих объектах культурного наследия, в настоящее время представленных только в виде экспонатов отдельных музеев или фотографий (рис. 1).

Использование фотограмметрии в комплексе со специальными инструментами и технологиями автоматизированного создания макрофотографий эффективно используется в НГУ для такого важного направления археологии, как исследование геометрических микролитов – миниатюрных каменных орудий труда (рис. 2). Преимущество высокоточного трехмерного моделирования перед традиционными типами документирования (фотография и графический рисунок) заключается в том, что в отличие от графического рисунка и фотографии, на трехмерной модели отражается максимальный объем информации об объекте. Напро-



Рис. 1. 3D-модель керамической скульптурки третьего тысячелетия до н.э., найденной на территории археологического памятника Кондон (экспозиция музея Института археологии и этнографии СО РАН, инв. номер осн3508/11)

тив, при фотографировании и зарисовке специалист отражает только те свойства объекта, которые посчитал важными. При таком подходе могут потеряться такие значимые для ученого-археолога признаки, как вторичная обработка и следы макроизноса [4].



Рис. 2. 3D-модель геометрического микролита со следами вторичной обработки

В основе технологии макро-фотограмметрии лежит последовательное применение методов стекинга и фотограмметрии, а также автоматизация этих процессов. Для получения трёхмерной модели методом фотограмметрии производится серия фотоснимков объекта с различных ракурсов, полученные фотографии при помощи специализированного программного обеспечения преобразуются в объемную модель. При этом каждая фотография представляет собой макроснимок, который, в свою очередь, выполняется по особой технологии (стекингу).

Основная проблема фотографирования малых объектов заключается в крайней малой глубине резкости изображаемого пространства при значительном увеличении предмета. Таким образом, при съемке микрообъекта с увеличением, только небольшая его часть получается в фокусе. Для борьбы с этим эффектом используется технология «стекинг» – делается серия фотоснимков с последовательным смещением фокусировки камеры от ближнего (к объективу) края предмета к дальнему (или наоборот). Достигается это либо плавной регулировкой фокуса, либо плавным смещением фотоаппарата вперед / назад.

Для автоматизации процессов макростекинга и смены угла съемки предмета в ЛМИПИЕ НГУ используется набор Cognisys StackShot 3X Virtual Object Creation Kit. В комплект входят макрорельсы, поворотный стол и контроллер для управления сценой. Макрорельсы используются для пошагового сдвига фотоаппарата вперед / назад относительно снимаемого микрообъекта для получения серии снимков с разной зоной резкости для последующего создания макрофотографии методом стекинга. Поворотный стол вращает объект вокруг своей оси для создания серии снимков с разных сторон предмета для последующего создания трехмерной модели методом фотограмметрии.

Контроллер управляет сценой и затвором фотоаппарата, автоматически выполняя последовательность действий в режиме стекинг – поворот – стекинг, что значительно облегчает работу специалиста при получении снимков.

Полученные серии снимков склеиваются программным продуктом Zerene Stacker в макрофотографию, а серия полученных макрофотографий преобразуется в трехмерную модель программой Autodesk 123D-catch или Agisoft Photoscan. [4]

Кроме фотограмметрического метода оцифровки объемных предметов и поверхностей существуют и другие методы, такие как лазерное сканирование или сканирование на основе структурированного подсвета. Оба метода обеспечивают высокую скорость получения трехмерной модели, но при этом сканеры на технологии структурного подсвета значительно дешевле своих лазерных аналогов. Преимуществами этих методов трехмерного сканирования перед фотограмметрией, кроме скорости создания моделей, являются непосредственный контроль качества трёхмерных снимков в процессе работы и гарантированная точность моделей. Недостаток – в зависимости от используемой технологии может потребоваться отдельная подготовка цветной текстуры модели. Технология лазерного сканирования основана на измерении времени прохождения лазерного луча до множества точек поверхности объекта. Метод сканирования с использованием структурированного подсвета основан на проекции сетки линий на сканируемый объект и фиксация их геометрических искажений на рельефе объекта с помощью цифровых камер. На основе зарегистрированной камерами искаженной сетки линий, вычисляется геометрия предмета.

Сканирование этими методами, кроме навыков 3D-сканирования, требует наличия специализированной аппаратуры и её калибровки перед использованием. Для трехмерного сканирования структурированным подсветом требуются особые условия освещенности, компьютер и программное обеспечение для получения 3D-моделей [5].

В лаборатории ЛМИПИЕ НГУ широко применяется сканирование методом структурированного подсвета. В качестве оборудования используется сканер RangeVision Standard. Таким способом, в частности, было подготовлено большинство моделей археологических находок, опубликованных на сайте 3D-галереи НГУ [6].

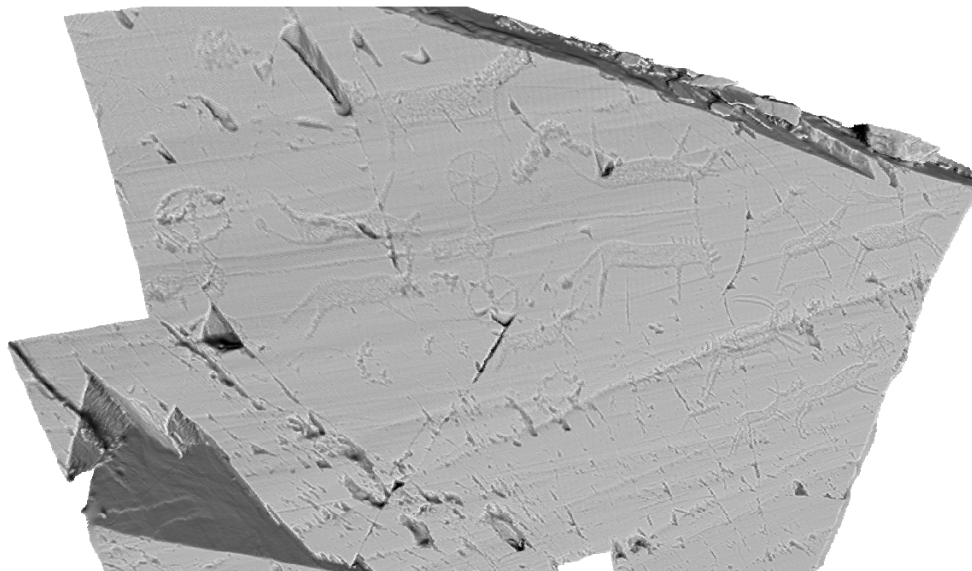


Рис. 3. 3D-модель скальной поверхности с петроглифами урочища Соок-Тыт (Алтай)

Сканирование на основе структурированного подсвета также неоднократно использовалось в исследованиях петроглифов республики Алтай. Таким образом, методы трехмерного сканирования используются в целях наиболее полного документирования наскальных рисунков, обеспечение возможности наиболее точного их воспроизведения и изучения их свойств в лабораторных условиях (рис. 3).

Опыт показал, что фотограмметрия плохо применима для 3D-моделирования поверхностей со слаборазличимым рельефом наскальных рисунков, так как технология требует фотографирования поверхности под разными углами. Съемка поверхности под значительным углом в режиме увеличения изображения приводит к выходу части изображаемого пространства за пределы глубины резкости, т. е. значительная часть изображения получается не в фокусе. Таким образом, только небольшой фрагмент рисунка становится пригодным для построения трехмерной модели. Это приемлемо для, например, трасологических исследований, где необходимо изучить небольшой фрагмент следа орудия нанесения рисунка, но не подходит для фиксации целой композиции.

3D-сканирование на основе структурированного подсвета не обладает этим недостатком, но также имеет ряд особенностей. Так, производить трехмерное сканирование нужно в ночное время, либо с использованием специальных светофильтров, необходимо обеспечить питание оборудования в полевых условиях – от переносного аккумулятора или от электрогенератора, и необходимо отдельно, как правило, уже в дневное время, делать фотографии для цветного текстурирования модели поверхности.

Развитие технологий 3D-сканирования позволило существенно повысить точность и снизить субъективность при документировании памятников наскального искусства. Так, до последнего времени для документации наскальных рисунков использовались зарисовки с натуры, фотографирование, производство эстампажей, прорисовки фигур на прозрачные материалы – все эти способы применялись в течение многих десятилетий. Все эти методы, за исключением фотографии, предполагают значительное участие человека в подготовке изображения петроглифа, что вносит значительный субъективный фактор – каждый специалист воспроизводит сюжет в соответствии со своим восприятием, опуская детали, которые он посчитал не существенными.

Фотоснимок, в свою очередь, являясь достаточно объективным источником информации, в то же время не может воспроизвести слаборазличимых деталей рисунка. Часто гравировка и выбивка рисунков сливается по цвету со скальной поверхностью и различима только по рельефу. Для проявления деталей таких рисунков часто используется боковое освещение, дающее контрастные тени на мельчайших деталях рельефа, но этот метод тоже недостаточно надежный.

Внедрение технологий 3D-сканирования в петроглифоведение позволило фиксировать рельеф в цифровой 3D-модели с высоким уровнем детализации. На основе трехмерной модели, в свою очередь, возможно многократное последующее ручное или автоматизированное выделение рисунка в лабораторных условиях.

Так, для выделения рисунков в рамках задач лаборатории ЛМИПИЕ НГУ используются методы программной обработки трехмерной графики. При визуализации 3D-моделей появляется возможность изменения угла обзора модели и ручного изменения силы, цвета и положения источников освещения по желанию исследователя. Это позволяет за счет светотеней выделить мельчайшие детали рельефа рисунка, такие, как тонкие гравированные линии. Применение различных программных фильтров, таких как «3D-Deviation» или «Radiance Scaling» в приложении MeshLab, позволяет дополнительно подсветить рельефные места трехмерного изображения с использованием различных алгоритмов 3D-графики. Один из программных способов автоматически выделить рельефные места заключается в наложении на трехмерную модель поверхности ее сглаженной копии методом «вычитание». В результате данного действия плоские и рельефные фрагменты начинают существенно различаться.

Особой задачей археологических исследований стоит картографирование наскальных изображений, что невозможно без использования современных геоинформационных технологий. Геоинформационные системы (ГИС) не только реализуют потребности картографирования данных, но и решает задачи статистического, демографического анализа, выявления пространственных закономерностей. На сегодняшний день применение ГИС в археологии недостаточно развито, созданные проекты либо узкоспециализированы, либо давно не поддерживаются. При этом применение технологий ГИС в археологических исследованиях, а также в сфере культурного наследия на сегодняшний день сформировалось как самостоятельное междисциплинарное направление исследований [7, 8].

Для эффективного сохранения и представления данных о наскальных изображениях и их расположении необходима развитая геоинформационная система, сопряженная с системой управления контентом, опубликованная в веб-доступе. При этом совершенная открытость баз данных по петроглифам в условиях отсутствия комплекса охранных мер (создания музеев-заповедников под открытым небом с режимом контролируемого культурного туризма) может привести к разрушению наиболее важных образцов наскального искусства. Археологи не без оснований отказываются от публикации точных географических координат тех или иных исследованных петроглифических памятников, будь то компактные скопления, возможно, относящиеся к древним святилищам, или разбросанные на большой площади ансамбли изображений.

При этом важным свойством информационной системы по картографированию петроглифов представляется возможность хранения их трехмерных моделей, как наиболее полного и точного первичного источника информации о наскальном рисунке.

Основными пользовательскими и техническими характеристиками создаваемой информационной системы, таким образом, должны быть следующие. Во-первых, необходим строгий режим доступа к просмотру информации в целях защиты памятников культуры от антропогенного воздействия методом сокрытия информации о них от широкого круга пользователей. Режим доступа как к просмотру загруженного контента, так и процессу наполнения информации предполагает добавление пользователей администратором системы вручную. Во-вторых, система должна хранить и отображать местоположения наскальных изображений на карте. В базе данных информационной системы предусмотрено хранение максимально подробной информации о петроглифах: фотография, описание изображенного сюжета, данные о технике нанесения фигур, графическая прорисовка, трехмерная модель, ссылки на публикации и т. п. В-третьих, информационная система должна предоставлять инструменты поиска и фильтрации по базе петроглифов на основе имеющихся атрибутов объектов: предусмотрен поиск по эпохам, по сюжетам, по технике нанесения фигур, наличию разрушений, подновлений, палимпсестов и т. п.

Для создания такой информационной системы представляется эффективным использование стека веб-технологий на основе сервера приложений с поддержкой языка программирования PHP и системы управления базами данных MySQL. Интерактивная карта может быть реализована с помощью компоненты Google Maps и программного интерфейса работы с ней Google Maps API.

С использованием такой системы авторизованный исследователь получает возможность изучать вопросы о границах памятников наскального искусства, о связи петроглифов с другими компонентами археологического комплекса (курганы, стелы, места стоянок скотоводов и др.), о наскальных «святилищах» и многих других дискуссионных вопросах, связанных с интерпретацией петроглифов в контексте «археологических ландшафтов» [9, 10].

В заключение можно сказать, что в последнее время современные информационные технологии, а особенно 3D-технологии, активно используются в гуманитарных исследованиях, в том числе в направлениях археологии, петроглифоведения, трасологии и др. Значительное влияние информационных технологий на гуманитарные исследования требует привлечения специалистов-информатиков для решения археологических задач, а также особой подготовки специалистов гуманитарного профиля с уклоном в технические науки.

Список литературы

1. *Malgat C., Duval M., Gauchon C.* Facsimiles and transfer of heritage value: The rock art cave Chauvet-Pont-d'Arc [Fac-Similés et transfert de patrimonialité. La grotte ornée chauvet-pont-darc] // *Culture et Musees*, 2015. № 25. P. 141–163.
2. *Soutif M.* Lascaux II, le nouveau chef d'œuvre // *Géo*. 1983. № 51. P. 42–58.
3. *Pollefeys M., Koch R., Vergauwen M., Gool L. van.* Automated reconstruction of 3D-scenes from sequences of images // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2000. Vol. 55, issue 4. P. 251–267. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2716\(00\)00023-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2716(00)00023-X)

4. Казаков В. В., Ковалев В. С., Жумадилов К. Б., Шнайдер С. В. Трехмерная визуализация геометрических микролитов при помощи макро-фотограмметрии // *Universum Humanitarium*. 2016. № 2 (3). С. 65–72.
5. Черемисин Д. В., Казаков В. В., Ковалев В. С., Жарикова М. В. Опыт трехмерного сканирования наскальных рисунков с помощью технологии структурированного подсвета // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2015. Т. 21. С. 446–450.
6. Информационная система «3D-галерея Новосибирского государственного университета». URL: <https://3d.nsu.ru> (дата обращения 20.09.2016)
7. Winterbottom S. J., Long D. From abstract digital models to rich virtual environments: landscape contexts in Kilmartin Glen, Scotland // *Journal of Archaeological Science*. 2006. Vol. 33, issue 10. P. 1356–1367. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2006.01.014>.
8. Thierry Aubry, Luís Luís, Javier Mangado Llach, Henrique Matias. We will be known by the tracks we leave behind: Exotic lithic raw materials, mobility and social networking among the Côa Valley foragers (Portugal) // *Journal of Anthropological Archaeology*. 2012. Vol. 31, issue 4. P. 528–550. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaa.2012.05.003>.
9. Jacobson-Tepfer E., Meacham J. *Archaeology and Landscape in the Mongolian Altai: An Atlas*. Redlands, California: ESRI Press, 2010. 209 p.
10. Буржуа Ж., Черемисин Д. В., Плетс Г., Дворников Э. П., Эбель А. В., Стихельбаут Б., Ван Хооф Л., Гейли В. Археологический ландшафт долины Джазатора (Алтай): памятники и петроглифы эпохи энеолита – этнографического времени // *Археология, этнография, антропология Евразии*. 2014. № 4 (60). С. 105–119.

Материал поступил в редколлегию 20.10.2016

V. V. Kazakov

*Novosibirsk State University
1 Pirogov Str., Novosibirsk, Russian Federation*

vkazakov@phys.nsu.ru

APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN RESEARCHES AT THE NSU LABORATORY OF MULTIDISCIPLINARY RESEARCH ON PREHISTORIC ART IN EURASIA

The article provides an overview of the use of information technologies, including 3D-technologies, in modern archaeological researches. Described an experience and tasks of researches at the NSU Laboratory of Multidisciplinary Research on Prehistoric Art in Eurasia. Considered and compared 3D-modeling technology – photogrammetry, structured-light and laser 3D-scanning. Described techniques, used in the NSU laboratory for photogrammetry of very small archaeological finds. Represented an experience of 3D-scanning of Altai petroglyphs. Showed problems to be solved by this method of documenting of petroglyphs, including an automatic selection of drawing on the surface. Proposed solution to the problem of mapping of prehistoric drawings on the basis of a web-based resource with the database of petroglyphs, a geographic information system module and ability to store and render three-dimensional models, as the most complete and accurate primary information about rock carving.

Keywords: 3D-technologies, photogrammetry, 3D-scanning, archaeology researches.

References

1. Malgat, C., Duval, M., Gauchon, C. Facsimiles and transfer of heritage value: The rock art cave Chauvet-Pont-d'Arc [Fac-Similés et transfert de patrimonialité. La grotte ornée chauvet-pont-darc] (2015) *Culture et Musees*, 2015-January (25), pp. 141–163.

2. Soutif M. Lascaux II, le nouveau chef d'œuvre // *Géo*. 1983. No 51. pp. 42–58
3. M. Pollefeys, R. Koch, M. Vergauwen, L. Van Gool, Automated reconstruction of 3D-scenes from sequences of images, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 55, Issue 4, November 2000, Pages 251-267, ISSN 0924-2716, [http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2716\(00\)00023-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2716(00)00023-X)
4. V. V. Kazakov, V. S. Kovalev, K. B. Zhumadilov, S. V. Shnaider. Trekhmernaya vizualizatsiya geometricheskikh mikrolitov pri pomoshchi makro-fotogrammetrii. *Universum Humanitarium*. 2016, Vol. 2, Iss. 3, pp. 65–72.
5. D. V. Cheremisin, V. V. Kazakov, V. S. Kovalev, M. V. Zharikova. Opyt trekhmernogo skanirovaniya naskal'nykh risunkov s pomoshch'yu tekhnologii strukturirovannogo podsveta. *Problems of Archaeology, Ethnography, Anthropology of Siberia and Neighboring Territories*. Novosibirsk: IAET SB RAS Publ., 2015. – Vol. XXI. pp. 446–450.
6. Information system «3D-gallery of Novosibirsk state university». URL: <https://3d.nsu.ru> (online: 11/20/2016)
7. S. J. Winterbottom, D. Long, From abstract digital models to rich virtual environments: landscape contexts in Kilmartin Glen, Scotland, *Journal of Archaeological Science*, Volume 33, Issue 10, October 2006, Pages 1356-1367, ISSN 0305-4403, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2006.01.014>
8. Thierry Aubry, Luís Luís, Javier Mangado Llach, Henrique Matias, We will be known by the tracks we leave behind: Exotic lithic raw materials, mobility and social networking among the Côa Valley foragers (Portugal), *Journal of Anthropological Archaeology*, Volume 31, Issue 4, December 2012, Pages 528-550, ISSN 0278-4165, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaa.2012.05.003>
9. Jacobson-Tepfer E., Meacham J. *Archaeology and Landscape in the Mongolian Altai: An Atlas*. – Redlands, California: ESRI Press, 2010.
10. Burzhua Zh., Cheremisin D. V., Plets G., Dvornikov E. P., Ebel A. V., Stikhelbaut B., Van Khoof L., Geili V. Arkheologicheskii landshaft doliny Dzhazatora (Altai): pamyatniki i petroglify epokhi eneolita – etnograficheskogo vremeni. *Arkheologiya, etnografiya, antropologiya Evrazii*, 2014, No 4 (60), pp. 105–119.