

Е.П. КРУПОЧКИН*, А.Н. ДУНЕЦ*, **

*Алтайский государственный университет,
656049, Барнаул, пр. Ленина, 61, Россия, krupochkin@mail.ru, dunets@mail.ru
**Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
656038, Барнаул, пр. Ленина, 46, Россия, dunets@mail.ru

НОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Изложены принципы использования ГИС-технологий вкупе с естественно-научными методами в геоархеологических изысканиях, среди которых особая роль отводится геоинформатике и картографии. В материалах найдена отражение модель развития геоинформатики, демонстрирующая технологический переход от «данных» — к «информации», и далее — к новым «знаниям». Актуальность и важность этих категорий подчеркивается для разных этапов геоархеологического анализа. Выявлено, что ключевой элемент предлагаемых подходов накопления и обработки сведений об артефактах — технология разработки баз археолого-географических данных, позволяющая решать одновременно две задачи: каталогизацию археологических объектов и ретроспективное моделирование исторического процесса с археологическим ландшафтом. Центральное звено используемой в работе концептуальной схемы геоинформационного картографирования археологических памятников — технология математико-картографического моделирования, основанная на синтезе математических, информационных, геоинформационных, картографических и других моделей. Особое внимание в этом познавательном процессе обращается на принципиально новые возможности геоархеологического анализа и археологических реконструкций, потенциал которых еще далеко не раскрыт. Подчеркивается, что при пространственно-временном анализе картографический и геоинформационный методы представляют собой главнейшие инструменты. Опыт и результаты экспериментов, полученные в ходе исследований, показали значительные перспективы развития археологической геоинформатики и картографии. Установлено, что неотъемлемой частью пространственного анализа археологических памятников является алгоритмизация процедур сбора геоархеологических данных и построения ГИС-моделей. Практическая апробация некоторых технологических приемов позволила выполнить комплексный геоархеологический анализ исследуемой территории в эпоху существования Великого Шелкового пути, а также реализовать в полной мере один из классов математико-картографических моделей и разработать на их основе серию тематических карт.

Ключевые слова: ГИС-технологии, геоархеологический анализ, археолого-географические данные, базы данных, математико-картографическое моделирование, геоинформационное картографирование.

A.N. KRUPOCHKIN*, A.N. DUNETS*, **

*Altai State University,
656049, Barnaul, pr. Lenina, 61, Russia, krupochkin@mail.ru, dunets@mail.ru
**Polzunov Altai State Technical University,
656038, Barnaul, pr. Lenina, 46, Russia, dunets@mail.ru

GEOINFORMATICS AND ARCHAEOLOGICAL MAPPING: NEW TRENDS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

This paper outlines the principles of using GIS technologies in conjunction with methods from natural sciences in geoarchaeological research. We examine the model of the development of geoinformatics demonstrating the technological transition from «data» through «information» to new «knowledge». The relevance and importance of these categories are highlighted for different stages of geoarchaeological analysis. It is determined that the technology for generation of archaeological and geographical databases providing a means of dealing with two problems: cataloging of archaeological sites and retrospective modeling of the historical process with the archaeological landscape, is the key element of the suggested approaches in accumulation and processing of information on artifacts. Central to the conceptual model of GIS-based mapping of archaeological sites used in this study is the technology of mathematical-cartographic mapping based on the synthesis of mathematical, information, geoinformation, cartographic and other models. Special attention in this cognitive process is paid to the fundamentally new capabilities of the geoarchaeological analysis and archaeological reconstructions whose potential has not yet been revealed. It is

emphasized that the cartographic and geoinformation-based methods are the key tools in the spatiotemporal analysis. Experience and results of experiments as obtained in the course of investigations showed considerable prospects for a further development of archaeological geoinformatics and cartography. It is established that algorithmization of the procedures of geoarchaeological data collection and GIS model construction is an integral part of the spatial analysis of geoarchaeological sites. By testing in practice some of the technological methods, it was possible to make a comprehensive geoarchaeological analysis of the study territory during the era of the Great Silk Road as well as realizing in full measure one of the classes of cartographic models and developing on their basis a series of thematic maps.

Keywords: GIS technology, geoarchaeological analysis, archaeological-geographical data, databases, mathematical-cartographic modeling, geoinformation mapping.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Геоинформационные системы (ГИС) и технологии развиваются сегодня в двух плоскостях. С одной стороны, это развитие во многом обеспечивается за счет траектории движения, заданной еще в конце прошлого века. С другой — его продолжают стимулировать новые междисциплинарные исследования, которые формируют свои собственные потребности и задачи к представлению, анализу и картографированию пространственных данных.

К таким исследованиям мы относим геоархеологию и археологическое картографирование. Геоархеология сегодня представляет собой одновременно и новую область исследований, инструмент, который широко применяется в естественно-научных методах. Своеобразную технологическую роль геоархеологические изыскания приобрели в связи с популяризацией таких естественно-научных методов, как картографический, геоинформационный, дистанционный и др. [1–4]. Вместе с тем сохраняется преимущество геоархеологии по отношению к гуманитарным наукам. К последним относится археология, предполагающая проведение раскопок и сбор артефактов в полевых условиях.

Наглядное представление о геоархеологии на этапе своего зарождения дает рис. 1. Видно, что главенствующая роль принадлежит археологическим методам исследований — полевой и камеральной археологии. Это вполне объяснимо, так как в археологических изысканиях раскопки и в XXI в. остаются определяющим методом для получения достоверных сведений об артефактах. Это касается исследований планиграфического положения археологических памятников и образцов, которые в последующем извлекаются из раскопок и подвергаются тщательному изучению. К важнейшим методам, которые мы также относим к геоархеологическим, относятся палеогеографические методы реконструкций прошлого. Например, один из них — стратиграфический, предполагающий наблюдение за культурными слоями, отложившимися в результате продолжительного обитания человека в данном месте, установление хронологического соотношения между слоями и др. В настоящее время в области палеореконовструкций повысился качественный уровень и значимость таких наук, как палеогеография, палеоботаника, палеозоология и др.

Отечественные пионеры в области разработки археолого-географических ГИС — Г.Е. Афанасьев, С.Н. Савенко, Д.С. Коробов и др. [2] — отмечают, что на современном этапе развития науки археологические исследования уже перестали быть просто раскопками археологических объектов. Они становятся составной частью многогранного мультидисциплинарного познавательного процесса, в котором основной упор делается на изучении пространственного распределения накопленного материала в тесной взаимосвязи с природной средой и обитавшими в ней людьми.

Большое внимание сегодня уделяется пространственному анализу в археологии, который представляет собой необходимый атрибут комплексных исследований культурно-исторических памятников. При этом его методы развиваются в рамках одного из направлений картографии и археологии — археологического картографирования, которое базируется на концепции геоинформационного картографирования, но при этом имеет свой предмет исследования. Суть его заключается в разработке методов и приемов создания и использования археологических карт, разных по масштабу и функциональному назначению [5].

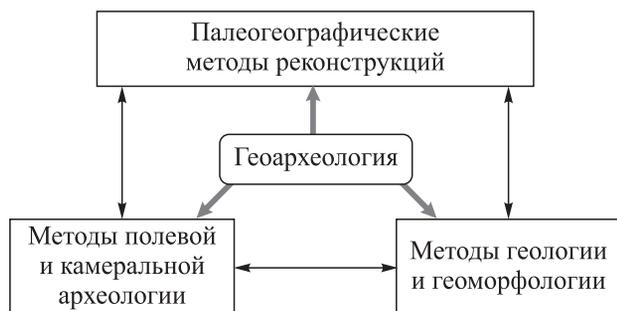


Рис. 1. Геоархеология в системе методов на этапе становления (2-я половина XX—начало XXI в.).

К сожалению, многие годы, включая советский этап, археологическому картографированию не уделялось должного внимания. Отсюда и незавершенность задач, поставленных учеными еще в далеком прошлом. Одной из острых проблем по-прежнему является недостаток достоверных картографических материалов, отражающих культурно-историческое наследие Сибири и ее отдельных регионов. Отсутствие археологических карт отрицательно сказывается на результатах научных исследований и их дальнейшей интерпретации. Это особенно актуально для научных проектов, посвященных реконструкциям древнего и средневекового человека, изучению его образа жизни и форм взаимодействия со средой обитания и др.

Для определения степени взаимообусловленности исторических событий прошлых лет целесообразно использовать детерминистский подход, диктующий необходимость тщательного изучения географических факторов, которые формируют природную среду обитания. В связи с этим важным представляется изучение, ретроспективное моделирование и картографирование климата исследуемой территории. Наиболее активно подобные исследования (по своей сути — геоархеологические) стали выполняться на стыке археологии с палеоклиматологией, палеогеографией, дендрохронологией и другими естественно-научными науками. И хотя ретроспективное моделирование немислимо без палеогеографических данных, единой технологической и методической платформой геоархеологических реконструкций сегодня становятся именно ГИС-технологии вкпе с картографическим методом.

С учетом отмеченных выше проблем цель наших исследований — это обобщение и анализ междисциплинарных геоархеологических исследований через призму картографического и геоинформационного методов. Объектом исследований стала предгорно-низкогорная (контактная) зона Алтая в административных границах Алтайского края. Предмет исследований представляет собой методы изучения и картографирования археологических памятников времен существования Шелкового пути (эпоха Средневековья).

Актуальность исследований объясняется проблемами межотраслевого и научно-практического характера, к которым мы относим: поиск новых и уточнение координат ранее обнаруженных археологических памятников; разработку баз данных и каталогизацию объектов археологии; геоинформационное картографирование археологических памятников, позволяющее изучать историю освоения и заселения территории на разных этапах; ретроспективное моделирование, в основе которого лежит понятие «математико-картографическая модель»; использование дистанционных методов получения и анализа данных с целью не только обнаруживать новые объекты, но и оценивать их состояние.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Представляется целесообразным разработка ГИС-технологии, которая позволила бы решить несколько научно-практических задач (связанных с пространственным анализом и ретроспективным моделированием) с минимальными издержками, причем как временными, так и экономическими. В ее основе мы предлагаем использовать концептуальную схему геоинформационного картографирования и геоархеологического анализа памятников археологии. Она предусматривает выполнение аналитических операций с геоархеологическими данными на четырех уровнях [6]: первый уровень — отбор и анализ входных данных; второй — пространственный анализ и изучение взаимосвязей; третий — синтез и интерпретация результатов моделирования; четвертый — верификация разработанных моделей, оценка степени достоверности.

В основе апробируемой технологической схемы лежат следующие подсистемы: ввода исходных геоархеологических данных, хранения и обработки данных, математико-картографического моделирования, вывода и картографической визуализации результатов обработки. Для первых двух подсистем наряду с данными полевых исследований и инструментальной съемки предлагается использовать космические снимки высокого разрешения, а также результаты обработки спутниковых данных — продукты дистанционного зондирования. Это позволяет эффективно обследовать территорию и обнаруживать новые археологические объекты еще до выезда в поле. При этом необходимо опираться на базовые процедуры фотограмметрической обработки и компьютерного дешифрирования, влияющие на дальнейший результат: предварительную обработку, геометрическую коррекцию и ортотрансформирование, трансформирование в заданную систему координат и проекцию, радиометрическую коррекцию, разложение/объединение информации по спектральным каналам, проведение подспутникового полевого эксперимента (желательно) и др.

Кроме материалов дистанционного зондирования, входными данными для археолого-географической ГИС могут быть результаты полевых инструментальных съемок, информация из отчетов

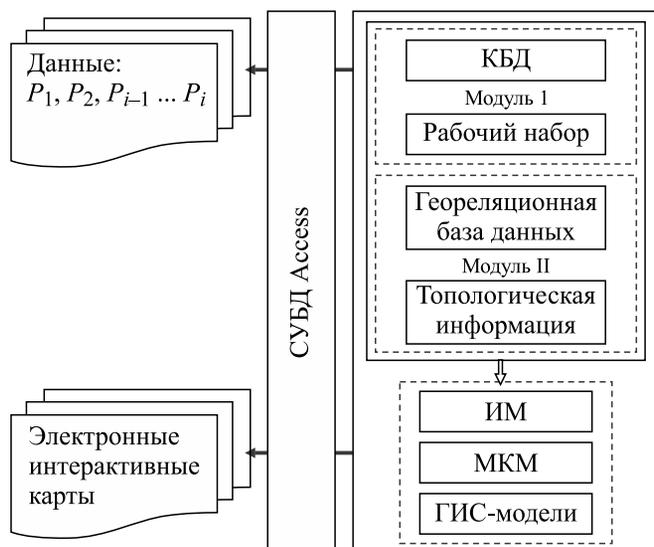


Рис. 2. Типовая схема разработки и использования геоархеологической СУБД для целей пространственно-временного анализа и ретроспективного моделирования.

P_i — наборы исходных данных, поступающих в систему; СУБД — система управления базой данных; КБД — картографическая база данных; ИМ — информационные модели; МКМ — математико-картографические модели.

и материалов археологических и комплексных (например, дендрохронологических, проводимых географами, археологами, ботаниками и др.) экспедиций [6], результаты проектно-исследовательских работ и экспертиз, связанные с анализом и картографированием природных и культурно-исторических памятников, результаты создания и обновления градостроительных планов и др.

Инструментальным средством подсистем первого уровня (ввод, хранение, актуализация и обработка данных) служат реляционные базы данных, реализуемые по типовой схеме (рис. 2). Используемая при этом система управления базами данных (СУБД) представляет собой набор программ, позволяющих создавать и поддерживать базы данных (БД) в актуальном состоянии и обслуживать запросы пользователей. Она включает ядро, язык и инструментальные средства программирования. Важнейшее функциональное назначение СУБД состоит в реализации системы запросов. Запрос — это обращение к БД, содержащее задание на поиск и чтение данных согласно некоторому условию, а также выдачу информации пользователю в требуемом виде. В некоторых случаях выдача информации в результате запроса выполняется после процедуры формализованной обработки, например, с использованием языка SQL.

Интересно, что идея реляционной модели была предложена еще в 1970 г. американским ученым Э. Коддом [7, 8]. Она основана на представлении данных в виде отношений между ними, которые пошагово приводятся к двумерной табличной форме с полным сохранением информации о них. В реляционной модели операции над объектами имеют теоретико-множественный характер. Иными словами, если задан набор множеств D_1, D_2, \dots, D_k , то декартовым произведением множеств D_1, D_2, \dots, D_k (обозначим как $D_1 \times D_2 \times \dots \times D_k$) будет называться множество кортежей (v_1, v_2, \dots, v_k) длины k , таких, что v_1 принадлежит D_1, v_2 принадлежит D_2 [7, 8].

Согласно правилам, в созданной нами ГИС «Археология Алтая в эпоху Великого Шелкового пути» в таблице атрибутов каждой строке соответствует отдельно взятый археологический памятник, каждой колонке — поле таблицы атрибутов, содержащее: внутреннюю нумерацию, наименование, фактическое число объектов, относящихся к конкретному памятнику, период согласно принятой в археологии системе культурно-исторической периодизации, обнаруженные находки, географические координаты объектов и др.

Основополагающей категорией, определяющей спектр решаемых задач в области археологической геоинформатики¹, является математико-картографическое моделирование (МКМ). Концепция МКМ, разработанная впервые В.Т. Жуковым, С.Н. Сербенюком, В.С. Тикуновым [9] и развиваемая впоследствии другими отечественными учеными (А.М. Берлянт, В.А. Червяков, И.К. Лурье, А.Р. Аляудинов, С.М. Кошель и др.), приобрела новые формы и наполнение, причем как в научно-техническом, так и в содержательном смыслах. Важнейший элемент предлагаемой нами технологической схемы геоархеологических изысканий, основанной на использовании ГИС, представляет собой подсистему, построенную на синтезе двух видов моделей: математическом и картографическом.

¹ Под археологической геоинформатикой понимается адаптированная для решения задач археологических исследований совокупность информационных технологий, обеспечивающих: регистрацию, хранение, обработку, анализ, отображение разнообразных пространственных (связанных с определенной точкой или областью пространства) данных [1].

Применительно к задачам геоархеологии сущность МКМ просматривается в трех звеньях технологической цепочки: создание математических и информационно-алгоритмических моделей на основании собранных археолого-географических данных → построение и анализ ГИС-моделей, позволяющих наглядно представить результаты моделирования → верификация разработанных моделей для решения научно-практических задач. Многообразие математико-картографических моделей [10–16] показывает целесообразность их разработки для решения междисциплинарных научно-практических задач в области геоархеологии.

Приведем пример использования одного из классов МКМ, относящихся к категории «цифровых моделей рельефа». В процессе их разработки одним из кратчайших путей является использование материалов радиолокационной съемки, известных как матрицы высот SRTM [17]. Специфика данных SRTM заключается в том, что они доступны практически для всех потенциальных потребителей и при этом совершенно бесплатно. Немаловажную роль здесь играет форма и форматы представления. Так, к примеру, возможен выбор нескольких версий (предварительная, окончательная и обработанная), из которых наиболее востребованы окончательная и обработанная версии 2 и 3 соответственно [18].

На основе построенных SRTM-мозаик нами была создана серия тематических карт, отображающих распределение археологических памятников в зависимости от производных характеристик рельефа, таких как: вертикальное расчленение, углы наклона и экспозиция, видимость горизонта и др. Так, на карте вертикального расчленения (рис. 3, а) четко прослеживается закономерность размещения археологических памятников на ровных и слабопологих участках местности. Это в равной степени относится к большинству как отдельно стоящих объектов (например, курганов), так и археологических комплексов. Данная закономерность не только хорошо просматривается визуально, но и подтверждается с позиции формализованного анализа.

В связи с этим следует отметить метод моделирования дорожной сети на основе оптимизации затрат, реализованный И.В. Журбиным, Д.В. Груздевым, Р.П. Петровым в 2015 г. на примере северной части Удмуртии [19]. При реконструкции транспортных путей для нахождения длины и трудоемкости (стоимости) вероятного пути И.В. Журбиным использовались данные о рельефе. На основе матриц высот вычислялись расстояния и углы наклона. Для расчета трудоемкости пути авторы использовали формулу:

$$C = L \times K_p \times K_r,$$

где C — трудоемкость затрат на преодоление пути, L — поверхность в виде матрицы, K_p — коэффициент сложности рельефа, K_r — коэффициент сложности гидросети. При внимательном изучении физического смысла данной формулы следует сделать вывод о том, что ключевым фактором, определяющим проложение маршрутов, является морфометрический, т. е. учитывающий производные характеристики рельефа.

Однако фактически сложность рельефа определяется степенью расчлененности, причем как вертикальной, так и горизонтальной. Первая представляет собой независимый параметр и тесно коррелирует с показателем углов наклона скатов, что подтверждается специальными экспериментами и количественными расчетами, проведенными ранее [20, 21].

Горизонтальная расчлененность — это по сути производная характеристика рельефа, формируемая рисунком гидрографической сети. Собственно, горизонтальное расчленение — это отношение суммарной протяженности линейных элементов гидросети к оцениваемым площадям (участкам местности).

При внимательном изучении построенной карты (см. рис. 3) обнаруживаются более десятка поселений эпохи Средневековья, расположенных на границе участков с численными значениями расчлененности более 20 м. Так, в долине р. Чумыш сконцентрированы следующие поселения: Улус 3, Татарские могилки 1, Коммунарский Лог 1, Манжиха 1–3, Усть-Каменушка 1–3 и др. Они образуют компактную сеть, занимающую хорошо освоенные локальные участки, что соответствует в геоморфологическом отношении высоким останцам коренных берегов рек, возвышенной части увалов и т. п.

Несмотря на общее высокое расчленение рельефа, для связи с этими местами имеются удобные с позиции транспортной проходимости плоские водоразделы — террасы рек. Фактор близости к местам с широкой речной долиной обеспечивал возможность быстрого перемещения средневекового человека, что подтверждают построенные нами карты (см. рис. 3).

Обширную площадку, расположенную в долине р. Катунь по правому берегу, со стороны р. Иши, занял в эпоху Средневековья ряд поселений: Усть-Иша, Новосуртайка, Кульпикова Сопка 1, Горный 8, Иша 1–5, Харизовка 1, Еболкташ 3 и др. Учитывая слабую изменчивость русел рек в предгорных

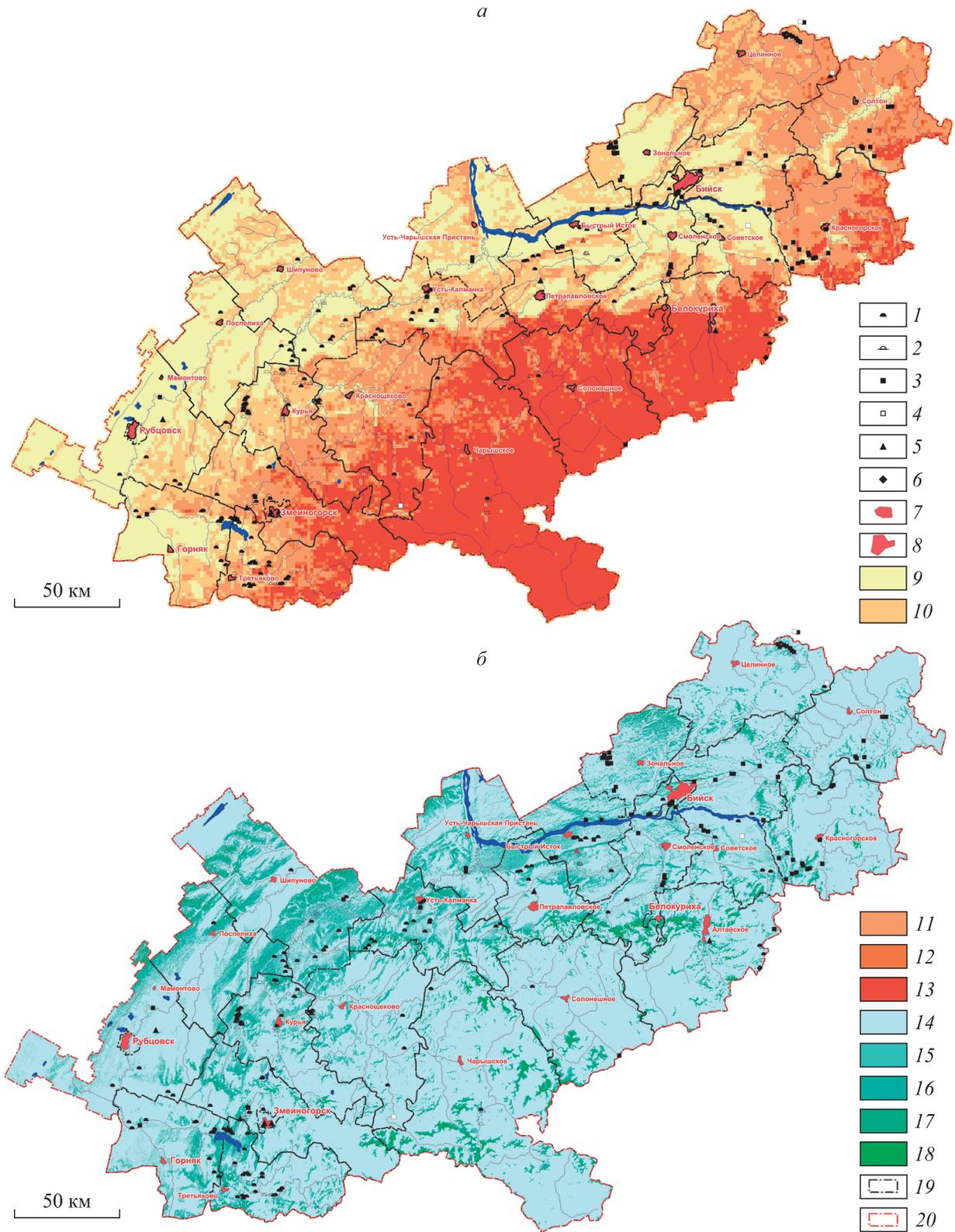


Рис. 3. Распределение археологических памятников по зонам вертикального расчленения (*a*) и по зонам видимости (*б*) предгорно-низкоргорной зоны Алтайского края.

Археологические памятники Средневековья: 1 — группа курганов, 2 — одиночный курган, 3 — поселение, 4 — стоянка, 5 — находка, 6 — прочие. Населенные пункты: 7 — районные центры, 8 — города. Вертикальная расчлененность рельефа, м: 9 — 1–20, 10 — 20–45, 11 — 45–100, 12 — 100–120, 13 — 120–267. Видимость горизонта, %: 14 — 0–2, 15 — 2–5, 16 — 5–11, 17 — 11–24, 18 — 24–100. Границы: 19 — административных районов, 20 — области исследования.

и горных зонах, особенно при рассмотрении сравнительно небольшого исторического отрезка времени, следует предположить, что средневековые кочевники отдавали предпочтение небольшим, компактным участкам, удобным для проживания и освоения.

Такое удобство заключалось в возможности коммуникаций по долинам рек и террасированным склонам. Кроме того, близкие подходы к воде были немаловажным условием выбора местообитания. Между тем вода — это не просто один из факторов местообитания, доступ к ней обеспечивал хозяйственную деятельность: земледелие, скотоводство, железорудную переработку и изготовление металлических орудий труда и охоты и др.

Другую, не менее важную, характеристику ретроспективного анализа системы расселения средневекового человека представляет собой видимость горизонта.

Процедура ГИС-анализа по отношению к таким зонам основана на двух технологических операциях: моделировании зон видимости с одной (заданной) либо с нескольких точек и вычислении параметров прохождения так называемой линии взгляда — линии зрительной связи между выбранными точками. При этом во всех случаях рекомендуется учитывать дополнительную информацию: высоту точек (например, пункты или вышки наблюдения) и цели (превышения по высотам наблюдаемых объектов), состояние и характер растительности и др.

Алгоритмы ГИС-моделирования зон и линий видимости основаны на определении численных значений ячеек входного раstra, которые могут быть видимыми из одного или нескольких местоположений (пунктов) наблюдения. Каждой ячейке выходного раstra присваивается значение, указывающее на количество точек наблюдения, видимых из каждого местоположения. Если, к примеру, есть пять точек наблюдения, то каждой ячейке, видимой из каждых пяти точек, присваивается 100 %. Всем ячейкам, не видимым из точек наблюдения, соответственно присваивается значение 0 %.

На построенной карте отражены зоны видимости, классифицированные по пяти диапазонам (см. рис. 3, б). Анализ карты и график распределения зон видимости, вопреки распространенному мнению об удобных открытых площадках, напротив, свидетельствуют о преобладании археологических памятников в так называемых зонах закрытости. Так, большая часть из них (57,6 %) соответствует именно первым двум диапазонам гистограммы распределения. Второе место (24,2 %) приходится на третий диапазон со значениями видимости 5–11 %. Четвертый и пятый диапазоны в сумме составили всего 18,2 %, хотя они ключевые в прямом смысле, т. е. действительно образуют зоны открытости.

Установленный в некотором смысле обратный эффект можно объяснить следующим обстоятельством. Во-первых, вычисленные по результатам ГИС-моделирования зоны видимости образуют вовсе не плоские фрагменты, а участки территории, определяемые с помощью заданных точек-ориентиров. В качестве последних могут быть использованы идентифицированные наблюдательные пункты, сигнальные посты, статичные природно-геоморфологические образования, выраженные в рельефе и др.

Интересно, что данная ситуация в большей степени характерна для поселений раннего периода Средневековья, что подтверждено результатами ГИС-анализа. К ним можно отнести собственно поселения, расположенные на приречных террасах, а также стоянки. Такие места содержат следы жилищ и хозяйственной деятельности. По условиям расположения они либо открытые, не имеют специально сделанных укреплений, либо используют только естественные черты ландшафта (удобная береговая терраса, возвышение, овраги, закрытые пещеры в горной местности и др.).

Во-вторых, в распределении археологических памятников позднего Средневековья и этнографического времени проявляется другая тенденция, объясняемая военно-стратегическим и хозяйственным факторами. Здесь следует отметить преобладание таких видов памятников, как курганы. К ним относятся как отдельно расположенные насыпи, так и курганные цепочки или комплексы. Курганы, как известно, служат признаком оседлости и характеризуют более высокий уровень хозяйственного освоения территории [22–24]. Выбор удобных территорий определялся, по всей видимости, обширностью площадок вблизи поселения, вовлеченных в хозяйственный оборот, а также возможностью успешного функционирования хозяйства (например, посредством круглогодичного использования лесных ресурсов, лугов и рек в радиусе многих километров).

Среди них курганные могильники и отдельно стоящие курганы соответствуют зонам видимости; для поселений, напротив, характерно положение на закрытых участках (см. рис. 3, б). Данную закономерность можно объяснить тем, что видимость горизонта для средневековых, особенно поздних, поселений была не настолько важна, как комфортность среды обитания и возможность приспособления к ней. По результатам имитационного моделирования мысовых городищ А.В. Коробейников [25] показал, что контроль окружающей территории на многие километры путем наблюдения невоору-

женным глазом с высокой площадки городища в лесистой местности — это абсурд с военно-оборонительной точки зрения.

Вместе с тем важность «высотного фактора», определяющего возможность обзора территории, не оспаривается и представляет собой достаточно распространенное мнение. Напротив, поселение, расположенное на открытой для просмотра возвышенности и видимое за много километров, само было объектом наблюдения для потенциального противника. Из этого следует, что степень эффективности площадки (пункта) наблюдения от высоты местоположения городища или селища, по сути, не зависела.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

ГИС-технологии продолжают развиваться, при этом их эволюция основывается на ряде фундаментальных характеристик с учетом общемировых трендов развития вычислительной техники и ИТ-технологий. Известные отечественные специалисты-геоинформатики В.И. Лайкин и Г.А. Упоров [26] среди таких трендов выделяют следующие: развитие технологии создания и использования баз данных, включая пространственные геоданные, а также поддержку распределенных баз данных и ГИС; растущие запросы и потребности в реализации геоинформационных систем и ГИС-проектов национального, регионального и локального уровней; возрастающий спрос на разработку новых продуктов ГИС, интегрированных в сеть Интернет, называемых Web-ГИС; внедрение актуальных тематических геоданных в создаваемую инфраструктуру пространственных данных (ИПД) на разных иерархических уровнях — от местного (локального) до мирового.

Геоинформатика стала своеобразным интегратором информационных и компьютерных технологий, перспективных методов исследований [11, 26, 27], имеющих отношение к пространственному анализу и ГИС-картографированию. Археология не просто не явилась исключением, а подтвердила актуальность заполнения своеобразного вакуума в свете острых потребностей геоархеологического анализа, поиска и картографирования новых археологических объектов. Это особенно важно для нашей страны в силу ее огромной территории, участки которой до сих пор тщательно не обследованы.

В наших исследованиях технология создания и поддержки археолого-географических баз данных позволила решить задачу каталогизации и археологического ГИС-картографирования на разных уровнях. К ней относятся как изученные и подлежащие охране памятники, так и не исследованные и, соответственно, не паспортизированные объекты, но при этом обнаруженные и имеющие координаты. Ввиду необходимости оперативного проведения поисковых, оценочных и экспертно-аналитических работ, предлагаемая технология приобретает особую практическую значимость, так как обеспечивает оперативный переход от простого (табличного) восприятия археологических данных к интерактивным картам. Ее примером может служить база данных «Археологические объекты Курайской котловины» [28], которая отличается актуальностью и новизной, поскольку содержит большое количество новых, ранее не исследованных памятников, демонстрирует с высокой точностью пространственное положение объектов и содержит информацию об их состоянии.

Особое внимание в связи с важностью разработки новых археологических карт (прежние или недостаточно полны, или дают слишком приблизительное представление) следует акцентировать на технологической схеме геоинформационного картографирования памятников археологии [5, 6, 29]. Ее новизна заключается в технологиях электронного картографирования памятников, пригодной как для полевых, так и для камеральных условий. Кроме того, она ориентирована на более широкий спектр исходных данных, а не только на материалы полевых исследований.

Методологическую основу комплексных геоархеологических исследований, реконструкций и анализа археологических памятников составляет математико-картографическое моделирование. Аналитический обзор всех потенциально возможных моделей выявил несколько классов и групп, актуальных для геоархеологического анализа. Один из наиболее востребованных классов таких моделей — цифровые модели рельефа (ЦМР) и созданные на их основе производные модели. Это одно из важнейших научно-практических направлений математико-картографического моделирования в геоархеологии [29].

На основе построенных нами SRTM-мозаик впервые для исследуемой территории разработана серия тематических карт, отображающих распределение археологических памятников в зависимости от производных характеристик рельефа, таких как вертикальное расчленение, углы наклона и экспозиция склонов (скатов), видимость горизонта и др. (см. рис. 3, б). С учетом совокупного влияния названных выше факторов смоделирована транспортная проницаемость исследуемой территории времен существования Великого Шелкового пути [30].

Из группы количественных показателей и моделей, характеризующих рельеф, наиболее примечательна «видимость горизонта». Один из главных посылов ГИС-анализа состоял в том, что расположение археологических памятников служит индикатором реконструируемой системы расселения. При этом смоделированная система выявила преобладающую тенденцию к размещению древних жилищ не на открытых участках, а наоборот, на закрытых от обзора.

Вместе с тем данный показатель, как и построенные на его основе ГИС-модели, трактовать не рекомендуется однозначно (хотя это и наблюдается достаточно часто). Во-первых, необходим предварительный историко-географический и культурно-типологический анализ исследуемой территории, который обеспечит классификацию всей совокупности археологических памятников и отнесение их к определенным группам.

Во-вторых, при анализе важна периодизация: объекты (преимущественно поселения) более раннего периода необходимо отличать от объектов более поздних дат. Это позволит более точно определить мотивацию для выбора характерных площадок с целью проживания и ведения хозяйственной деятельности.

В-третьих, нужно учитывать геоморфологические и климатические условия, формирующие облик реконструируемого ландшафта. К примеру, растительность может сыграть существенную роль при выборе местообитаний. Следует принимать во внимание наличие и характер географического расположения точек (пунктов) обзора, так как именно система этих точек задает высотные и азимутальные пределы видимости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Естественно-научные методы стали неотъемлемой частью археологических изысканий. При этом все более важное значение приобретает инструментально-функциональная база междисциплинарных исследований, предусматривающая использование информационных и компьютерных технологий в части разработки и эксплуатации археолого-географических ГИС, алгоритмизации процедур получения, хранения, ГИС-моделирования и картографической визуализации археолого-географических данных и т. п.

Активные усилия предпринимаются не только в области классической геоинформатики. Расширяются прикладные аспекты, способствующие развитию технологического и программного обеспечения геоархеологических исследований (например, с целью поиска и картографирования археологических объектов, изучения состояния окружающих их экосистем по материалам аэрокосмической съемки и др. [31]).

Учитывая непростую ситуацию в плане инвентаризации археологических памятников (как на Алтае, так и в стране в целом), особую актуальность приобрели задачи, связанные с методикой сплошного учета и археологического картографирования. Большинство из них были реализованы впервые для территории предгорно-низкогорной зоны Алтайского края. Несмотря на известность отдельно взятых памятников исследуемого района, отсутствовала единая база данных с уточненной и проверенной информацией. Это касается не только описательных характеристик объектов (привязки к историческому периоду/эпохе, находкам и т. д.), но и их пространственного положения и, что немаловажно, координат. Также впервые для данной территории построены карты, демонстрирующие зависимость средневекового человека от природно-географических факторов.

Центральное звено в реализуемой технологической схеме геоинформационного картографирования памятников археологии представляет собой подсистема математико-картографического моделирования. Она основана на синтезе таких видов моделей, как математические, информационные, геоинформационные, картографические, модели данных и знаний и др. Большое разнообразие представленных моделей демонстрирует значительный и, по существу, еще не раскрытый потенциал формализованных методов геоархеологического анализа. Предложенное направление создает основу для будущих междисциплинарных исследований, ориентированных на более широкое применение ГИС-технологий и математических методов.

При реализации авторами археолого-географической ГИС предгорно-низкогорной зоны Алтайского края созданы новые виды моделей. Так, на основе моделирования распределения памятников в зависимости от ряда индикаторов (видимость горизонта, экспозиция склонов и крутизна, нагреваемость, степень удаленности от источников воды, транспортная доступность и др.) выявлены предпочтения средневекового человека при выборе места для поселения. Проведенный анализ разрабатываемых моделей позволил иначе взглянуть на систему расселения эпохи Великого Шелкового пути

(в границах исследуемого района), оценить степень ее обусловленности природно-географическими факторами, выделить наиболее значимые из них. В большом разнообразии математико-картографических моделей, используемых в археологии, особую позицию занимает класс цифровых моделей рельефа.

Представленные результаты носят теоретический и прикладной характер и будут учтены в междисциплинарных исследованиях археологии Алтая, в том числе при разработке археолого-географической ГИС Алтайского края. Перспективы дальнейших исследований связаны с внедрением в теорию и практику археологического картографирования беспилотной съемки и технологии фотограмметрической обработки многозональных данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (18-05-00864).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гарбузов Г.П.** Геоинформационные системы и дистанционное зондирование Земли в археологических исследованиях на примере Таманского полуострова: Автореф. дис. ... канд. ист. наук. — М.: Изд-во Ин-та археологии РАН, 2007. — 25 с.
2. **Афанасьев Г.Е., Савенко С.Н., Коробов Д.С.** Древности Кисловодской котловины. — М.: Научный мир, 2004. — 240 с.
3. **Коробов Д.С.** Основы геоинформатики в археологии: Учеб. пособие. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2011. — 224 с.
4. **Постнов А.В., Вергунов Е.Г.** Основы геодезического обеспечения археологических исследований с применением спутниковых навигационных приемников. — Новосибирск: Свет, 2003. — 160 с.
5. **Крупочкин Е.П.** Археологическое картографирование в России: состояние и пути развития // Изв. Алт. ун-та. — 2010. — № 3–2 (67). — С. 11–119.
6. **Крупочкин Е.П., Слосаренко И.Ю.** Геоархеологический анализ памятников скифского времени долины реки Юстыт (Юго-Восточный Алтай): отработка методики и первые результаты // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. — Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2015. — Т. 21. — С. 284–288.
7. **Крупочкин Е.П.** Актуальные задачи разработки баз данных для целей геоархеологического картографирования // География и природопользование Сибири: Сб. науч. статей. — Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2013. — Вып. 16. — С. 65–70.
8. **Базы данных.** Базисные средства манипулирования реляционными данными: реляционная алгебра Кодда: интернет-форум для разработчиков баз данных [Электронный ресурс]. — http://citforum.ru/database/advanced_intro/13.shtml (дата обращения: 11.10.2013).
9. **Жуков В.Т., Сербенюк С.Н., Тикунов В.С.** Математико-картографическое моделирование в географии. — М.: Мысль, 1980. — 224 с.
10. **Тикунов В.С.** Моделирование в картографии. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. — 405 с.
11. **Геоинформатика.** Учебник для студ. высш. учеб. заведений. В 2-х книгах. 3-е изд., перераб. и доп. / Под ред. В.С. Тикунова. — М.: Академия, 2010. — Кн. 1. — 400 с.; Кн. 2. — 432 с.
12. **Глазунов В.В.** Геофизические методы исследования археологических памятников: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. — Л.: Изд-во Ленингр. горного ин-та, 1984. — 30 с.
13. **Афанасьев Г.Е.** Основные направления применения ГИС- и ДЗ-технологий в археологии // Круглый стол «Геоинформационные технологии в археологических исследованиях» (Москва, 2 апреля 2003 г.): Сб. докл. в электрон. форме. — М.: Изд-во Ин-та археологии РАН, 2004. — CD-ROM.
14. **Коробов Д.С.** Система расселения алан Центрального Предкавказья в I тыс. н. э. (Ландшафтная археология Кисловодской котловины): Автореф. дис. ... д-ра ист. наук. — М.: Изд-во Ин-та археологии РАН, 2014. — 50 с.
15. **Журбин И.В.** Геофизика в археологии: методы, технология и результаты применения: Автореф. дис. ... д-ра ист. наук. — М.: Изд-во Ин-та археологии РАН, 2006. — 42 с.
16. **Крупочкин Е.П.** Актуальные вопросы использования ГИС и данных дистанционного зондирования в геоархеологии // ИнтерКарто/ИнтерГИС-20: Устойчивое развитие территорий: геоинформационное обеспечение: Материалы Междунар. конф. — Белгород: Константа, 2014 — С. 108–116.
17. **SRTM Topography:** официальный сайт геологической службы США [Электронный ресурс]. — http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/Documentation/SRTM_Topo.pdf (дата обращения 25.05.2014).
18. **Глобальные цифровые модели высот:** официальный сайт компании «РАКУРС» [Электронный ресурс]. — http://www.racurs.ru/wiki/index.php/Глобальные_цифровые_модели_высот (дата обращения 15.06.2016).
19. **Журбин И.В., Груздев Д.В., Петров Р.П., Чиркова О.Т.** Метод реконструкции дорожной сети исторического региона на основе оптимизации трудозатрат // Историческая информатика. — 2015. — № 1–2. — С. 28–41.

20. **Червяков В.А.** Теория и технология регионального картографического моделирования: геоинформационные подходы. — Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2005. — 136 с.
21. **Крупочкин Е.П.** Анализ взаимосвязей морфометрических характеристик рельефа Алтайского края // Вопросы горного страноведения: Материалы регион. конф. — Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2005. — С. 59–64.
22. **Мартынов А.И.** Археология: Учебник. 5-е изд., перераб. — М.: Высш. шк., 2005. — 447 с.
23. **Археология: Учебник** / Под ред. В.Л. Янина. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. — 608 с.
24. **Фаган Б.М., ДеКорс К.Р.** Археология. В начале. — М.: Техносфера, 2007. — 592 с.
25. **Коробейников А.В.** Имитационное моделирование по данным археологии. — Ижевск: Изд-во Кам. ин-та гуманитар. и инженер. технологий, 2006. — 116 с.
26. **Геоинформатика: Учеб. пособие** / В.И. Лайкин, Г.А. Упоров. — Комсомольск-на-Амуре: Изд-во Амур. гуманитар.-пед. ун-та, 2010. — 162 с.
27. **Берлянт А.М.** Геоинформационное картографирование. — М.: Астрей, 1997. — 64 с.
28. **Быков Н.И., Крупочкин Е.П.** База данных «Археологические объекты Курайской котловины» // Свидетельство о регистрации № 2016620264 от 19.02.2016 г., Москва.
29. **Крупочкин Е.П.** Некоторые методические вопросы цифрового картографирования археологических памятников // Археология, этнография и антропология Евразии. — 2009. — № 3 (39). — С. 95–102.
30. **Дунец А.Н., Крупочкин Е.П.** Пространственный анализ археологических памятников Средневековья в предгорно-низкогорной зоне Алтайского края для обоснования исторических туристских маршрутов // Культура в евразийском пространстве: традиции и новации: Сборник материалов II Междунар. науч.-практ. конф. — Барнаул: Изд-во Алт. ин-та культуры, 2016. — Ч. 1. — С. 235–237.
31. **Крупочкин Е.П., Батуев А.Р.** Дешифрирование мультиспектральных космических снимков для решения задач поиска и идентификации археологических памятников // Изв. Ирк. ун-та. Сер. Науки о Земле. — 2013. — Т. 6, № 2. — С. 114–124.

Поступила в редакцию 12 мая 2017 г.