



УДК 902.26.:004 (574)
МРНТИ 03.41.91

<https://doi.org/10.52967/akz2024.1.23.115.129>

От традиции к инновациям: ГИС в археологии Акмолинской области

© 2024 г. Мухаметзянов А.Р., Хабдулина М.К.

Keywords: antiquity mapping,
geographic information systems,
remote sensing, spatial analysis

Түйін сөздер: ескерткіштерді
картографиялау, геоақпараттық
жүйелер, қашықтықтан зондау,
кеңістіктік талдау

Ключевые слова:
картографирование древностей,
геоинформационные системы,
дистанционное зондирование,
пространственный анализ

Artur Mukhametzyanov¹* and Maral Khabdulina¹

¹*corresponding author, Master's Degree student, L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Kazakhstan. E-mail: artur.mukhametzyanov.01@mail.ru

¹Candidate of Historical Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Kazakhstan. E-mail: mk_khabdulina@mail.ru

From tradition to innovation: GIS in archaeology of Akmola region

The first experience of an archaeological map throughout Kazakhstan was carried out in 1960. This publication was the result of intensive exploration work of the virgin land expeditions of 1953-1956 under the leadership of K. Akishev. Currently, the scale of archaeological work, the expansion of the coverage of the studied spaces, and geoinformation capabilities have formed new requirements and approaches to cartography. The development of computer technologies and the emergence of geoinformation systems have significantly expanded the tools of researchers, increased the efficiency of analysis and processing of data taken from the earth's surface. At first, this role was assigned to airplanes and helicopters, later to satellite systems and now to unmanned aerial vehicles. The main advantage of modern technologies is undoubtedly the ability to store and analyze large amounts of data, which allows for deeper and more comprehensive research. The task that faced archaeology more than half a century ago remains relevant. Despite the noticeable simplification of the process of creating maps, we still do not fully realize the full potential of computing systems in archaeological research. The article presents an example of creating a map of the archaeological sites of the Akmola region. During the development of the geoinformation system, data on 1032 monuments were processed and mapped. The most convenient ways of forming databases and applying remote sensing methods in everyday research are also considered, and an assumption is made regarding the near-term prospects for the development of GIS in archaeology.

Source of funding: The article was prepared within the framework of program-targeted financing of the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan 2023–2025, IRN BR21882346.

For citation: Mukhametzyanov, A., Khabdulina, M. 2024. From tradition to innovation: GIS in archaeology of Akmola region. *Kazakhstan Archeology*, 1 (23), 115–129 (in Russian). DOI: [10.52967/akz2024.1.23.115.129](https://doi.org/10.52967/akz2024.1.23.115.129)

Артур Робертович Мухаметзянов^{1*},
Марал Қалымжанқызы Хабдулина¹

^{1*}корреспондент авторы, магистрант, Л.Н. Гумилев
атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Астана қ., Қазақстан

Артур Робертович Мухаметзянов^{1*},
Марал Калымжановна Хабдулина¹

¹автор-корреспондент, магистрант, Евразийский
национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
г. Астана, Казахстан



¹тарих ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

**Дәстүрден инновацияға:
Ақмола облысы археологиясындағы ГАЖ**

Бүкіл Қазақстан шеңберіндегі археологиялық картаның алғашқы тәжірибесі 1960 ж. жүзеге асырылды. Бұл басылым К.А. Ақышевтің басшылығымен 1953–1956 жж. тың экспедицияларының қарқынды барлау жұмыстарының нәтижесі болды. Қазіргі уақытта археологиялық жұмыстардың ауқымы, зерттелетін кеңістіктердің кеңеюі және геоақпараттық мүмкіндіктер картографияға деген жаңа талаптар мен тәсілдерді қалыптастырды. Компьютерлік технологиялардың дамуы және геоақпараттық жүйелердің пайда болуы зерттеушілердің құралдарын едәуір кеңейтті, жер бетінен алынған деректерді талдау мен өңдеудің тиімділігін арттырды. Бұл рөл бастапқыда ұшақтар мен тікұшақтарға, кейінірек спутниктік жүйелерге, ал қазір ұшқышсыз ұшу аппараттарына жүктелді. Терең әрі жан-жақты зерттеулер жүргізуге мүмкіндік беретін үлкен көлемдегі деректерді сақтау және талдау заманауи технологиялардың басты артықшылығы болып табылатыны сөзсіз. Дейтұрғанмен археологияда жарты ғасырдан астам уақыт бұрын туындаған міндет өзектілігін жоғалтқан жоқ. Карталарды құру процесінің айтарлықтай жеңілдетілгеніне қарамастан, біз әлі археологиялық зерттеулердегі есептеу жүйелерінің барлық әлеуетін толық зерделей қойған жоқпыз. Мақалада Ақмола облысы археологиялық ескерткіштерінің картасын жасау үлгісі келтірілген. Геоақпараттық жүйені дайындау барысында 1032 ескерткіш бойынша деректер өңделіп, картаға түсірілді. Сондай-ақ мәліметтер базасын қалыптастырудың және күнделікті зерттеулерде қашықтықтан зондау әдістерін қолданудың ең ыңғайлы тәсілдері қарастырылды, археологиядағы ГАЖ дамуының болашағы туралы болжам жасалды.

Қаржыландыру көзі: Мақала ҚР ҒЖБМ Ғылым комитетінің 2023–2025 жж. бағдарламалық нысаналы қаржыландыруы шеңберінде, ЖТН BR21882346 жобасы аясында даярланды.

Сілтеме жасау үшін: Мұхаметзянов А.Р., Хабдулина М.Қ. Дәстүрден инновацияға: Ақмола облысы археологиясындағы ГАЖ. *Қазақстан археологиясы*. 2024. №1 (23). 115–129-бб. (Орысша).

[DOI: 10.52967/akz2024.1.23.115.129](https://doi.org/10.52967/akz2024.1.23.115.129)

¹кандидат исторических наук, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

**От традиции к инновациям:
ГИС в археологии Акмолинской области**

Первый опыт Археологической карты в рамках всего Казахстана был осуществлён в 1960 г. Это издание являлось результатом интенсивных разведывательных работ целинных экспедиций 1953–1956 гг. под руководством К.А. Акишева. В настоящее время масштабы археологических работ, расширение охвата изучаемых пространств, геоинформационные возможности сформировали новые требования и подходы к картографии. Развитие компьютерных технологий и появление геоинформационных систем заметно расширили инструментарий исследователей, усилили эффективность анализа и обработки данных, снимаемых с земной поверхности. Сначала эта роль была возложена на самолёты и вертолёты, позже – спутниковые системы и ныне – беспилотные летательные аппараты. Основным преимуществом современных технологий, несомненно, является возможность хранения и анализа больших объёмов данных, что позволяет проводить более глубокие и комплексные исследования. Задача, возникшая перед археологией более полувека назад, сохраняет свою актуальность. Несмотря на заметное упрощение процесса создания карт, мы всё ещё не до конца осознаем весь потенциал вычислительных систем в археологических исследованиях. В статье изложен пример создания карты археологических памятников Акмолинской области. В ходе разработки геоинформационной системы были обработаны и нанесены на карту данные по 1032 памятникам. Также рассматриваются наиболее удобные способы формирования баз данных и применения методов дистанционного зондирования в повседневных изысканиях, сделано предположение относительно ближайших перспектив развития ГИС в археологии.

Источник финансирования: Статья подготовлена в рамках программно-целевого финансирования Комитета науки МНВО РК 2023–2025, ИРН проекта BR21882346.

Для цитирования: Мұхаметзянов А.Р., Хабдулина М.К. От традиции к инновациям: ГИС в археологии Акмолинской области. *Археология Казахстана*. 2024. № 1 (23). С. 115–129.

[DOI: 10.52967/akz2024.1.23.115.129](https://doi.org/10.52967/akz2024.1.23.115.129)



*Посвящается 100-летию К.А. Акишева – учёного,
реализовавшего первый грандиозный проект
картографирования древностей Казахстана*

1 Введение (Мухаметзянов А.Р., Хабдулина М.К.)

Картография – неотъемлемая часть любого археологического изыскания. Она выступает как удобный инструмент фиксации и анализа значительного объёма данных. В археологии Казахстана новые технологии картографирования впервые были широко применены в исследовании древностей Алматинской области. Этому способствовали широкомасштабные разведочные маршруты, начатые в конце 60-х годов XX века. В дальнейшем по примеру привлечения аэрофотосъёмки в изучении пустынных районов Приаралья, осуществлённых Хорезмской археолого-этнографической экспедицией, в изучении Жетысу и Алматинской области в середине 1980-х годов стала использоваться аэрофотосъёмка (рис. 1). Были совершены десятки часов облёта и занесены на карту города Великого Шелкового пути и элитные курганы крупных могильников раннего железного



Рис. 1. К.А. Акишев (справа в центре) и К.М. Байпаков (крайний справа) рядом с самолётом, осуществлявшим аэрофотосъёмку. 1980-е годы. Южный Казахстан. Фото из семейного архива М.К. Хабдулиной 1-сур. К.А. Ақышев (ортада оң жақта) және К.М. Байпақов (оң жақта шеткі) әуефототүсірілімдерді жүзеге асырған ұшақтың қасында. 1980-ші жылдар. Оңтүстік Қазақстан. М.К. Хабдулинаның отбасылық архивінен алынған фотосурет

Fig. 1. Kimal A. Akishev (on the right in the center) and Karl M. Baipakov (far right) next to the plane carrying out aerial photography. 1980s. South Kazakhstan. Photo from Maral K. Khabdulina's family archive



века. В Алматы и окрестностях зафиксированы руины крупных курганов на могильниках Бурундай, Иссык, Тургенъ.

Примером фундаментального картографического проекта является изданная в 1960 г. «Археологическая карта Казахстана» (рис. 2). Её появление обусловлено процессом освоения целинных и залежных земель, требовавших предварительной фиксации древних объектов и систематизации сведений об археологических памятниках [АКК 1960]. В результате масштабных работ, проведённых в середине 50-х годов XX в., только в северных областях Казахстана было обнаружено 600 памятников. Это лишний раз подтверждает значимость картографии в археологии [Хабдулина и др. 2023: 19].

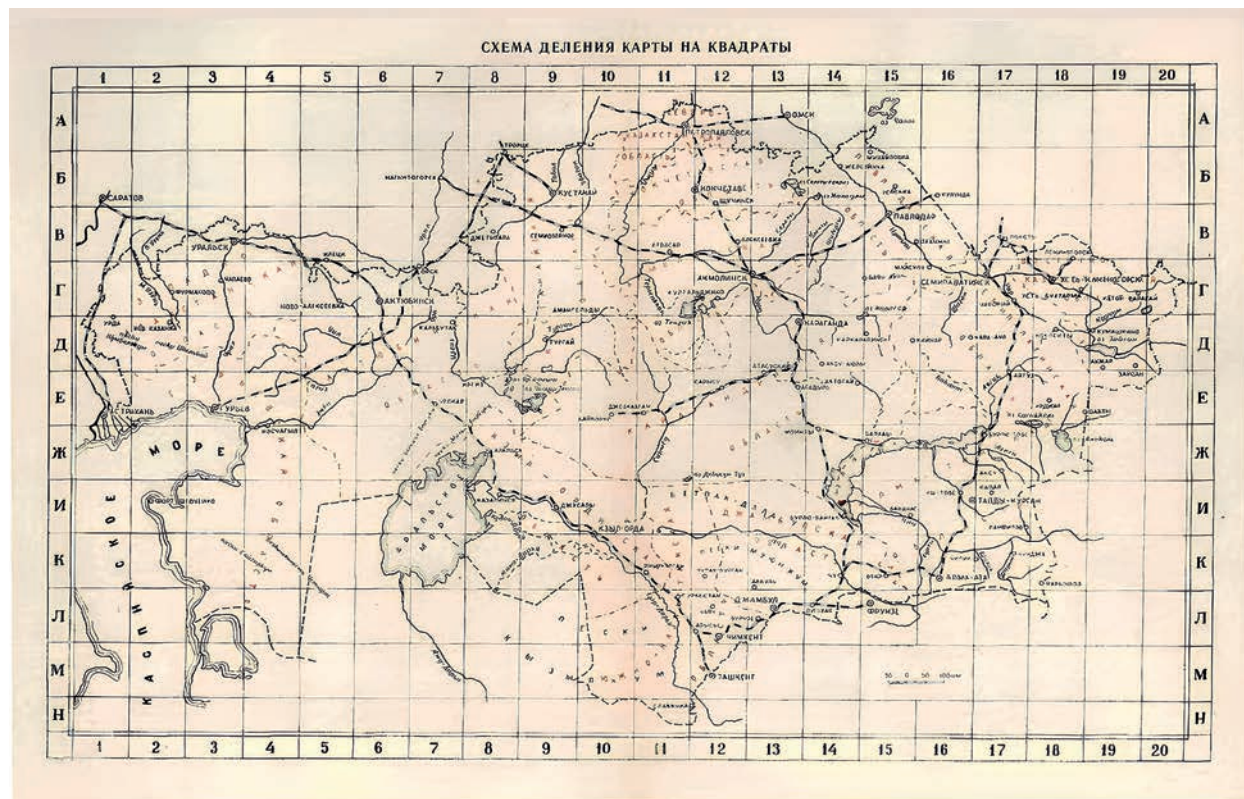


Рис. 2. Схема деления археологической карты Казахстана (по: [АКК 1960. Приложение] 2-сур. Қазақстанның археологиялық картасының бөліну схемасы ([АКК 1960. Қосымша] бойынша)
Fig. 2. Scheme of division of the archaeological map of Kazakhstan, after – АКК 1960. Appendix

Развитие технологий значительно упростило процесс создания карт. Спутниковые системы позволили с бóльшей точностью производить объектную фиксацию на больших пространствах, а появление беспилотных летательных аппаратов – в локальных условиях [Rocha, Branco 2009]. Заметную роль здесь играет также возможность быстрого обновления данных, что, в свою очередь, отражается на темпах исследования, его эффективности и результативности.

Обновление технического инструментария повлекло за собой стремительное развитие компьютерных программ для обработки полученных данных, их компиляции и анализа. Появление геоинформационных систем (ГИС) решило множество задач по сбору, проверке и интеграции информации о поверхности земли. Внедрение же их в археологию сформировало абсолютно новое направление, опирающееся как на классические методы гуманитарного знания, так и на естественнонаучные, математические, цифровые [Rhind 1988].



На наш взгляд, сегодня в Казахстане назрела практическая необходимость с использованием новых возможностей начать процесс обновления данных археологической картографии значительных масштабов.

2 Материал и методы исследования (Мухаметзянов А.Р., Хабдулина М.К.)

Целью данной работы было создание геоинформационной системы «Археологическая карта Акмолинской области». Она, на наш взгляд, соответствует современной тенденции формирования баз данных памятников отдельных регионов, областей, районов. В казахстанской науке уже есть примеры создания подобных карт или цифровых каталогов памятников, так же известен опыт зарубежных стран [Артемьев и др. 1998; Афанасьев и др. 2004; Васильев 2005; Пуртов и др. 2006; Беглецова и др. 2006; Кошеленко и др. 2007; Байпаков и др. 2014; Макаров и др. 2015; Белим и др. 2016; 2017; Житова, Шлемпа 2017; Тлеугабулов и др. 2022; Степанов и др. 2022].

Выгодным отличием электронных носителей является, с одной стороны, регулярный доступ к ним с любых электронных устройств, а с другой, возможность их применения в полной мере для всех видов исследований или охранной деятельности, проведения мониторинга и экспертиз.

2.1 Методы исследования

Для составления карты археологических памятников Акмолинской области были использованы картографический и гипсометрический методы, картометрические приёмы. Помимо этого, для уточнения расположения отдельных памятников, а также построения модели рельефа использовались данные космоснимков Google и спутниковых систем *Landsat*, *ASTER*, *Sentinel*. Кроме этого, использование методов дистанционного зондирования (ДЗ) обеспечило повышение точности входящих данных. Сравнительным анализом решались вопросы точности измеримых данных о расположении памятников, сопоставимости старых картографических материалов и новых спутниковых сведений.

В процессе анализа полученных данных были применены статистический и аналитический методы. Применение технологий компьютерного моделирования позволило изучить особенности рельефа, локализовать отдельные группы археологических памятников. Системный подход определил пути достижения наиболее выгодных результатов. Методом географического районирования были рассмотрены вопросы взаимной согласованности особенностей рельефа и расположения изучаемых объектов.

Геоинформационные технологии сыграли решающую роль в создании общего облика карты, при помощи спутниковых данных были построены реки и озёра (в виде векторных и полигональных объектов). Получены сведения о современном состоянии населённых пунктов и их локализации. Для создания ГИС карты археологических памятников Акмолинской области использовалось программное обеспечение (ПО) *ArcGIS Pro ver. 3.2*.

2.2 Характеристика материала

С момента появления картографии как одного из направлений в географии перед исследователями встал вопрос об оптимальных способах отражения действительности, визуального моделирования особенностей ландшафта. Способы обработки данных и перенесения их на бумагу или цифровые носители развивались вместе с изобразительным искусством. Формировалась методологическая основа качественного превращения результатов наблюдений в структурно и логически понятный рисунок – карту [Gillespie 2011: 4].

В соответствии с этим утверждением первоосновой для нашей работы, по настоящему массовым материалом стали спутниковые снимки. Данные о состоянии земной поверхности, особенностях рельефов, данных гидрологии суши получены благодаря спутниковым системам *Landsat 8/9*, *Sentinel-2* и *ASTER*. Снимки, снятые со спутников, представляют не привычные обывателю фотографии, а данные мультиспектрального и гиперспектрального сканирования. Иначе говоря — это технология, которая используется для извлечения информации о характеристиках объектов путём исследования их воздействия на электромагнитное излучение в различных



диапазонах длинных волн. Так *Landsat* имеет 11 спектральных каналов, а *Sentinel-2* – 13. Каждая полоса (*band*) имеет свои характеристики длины волн. Их комбинация позволяет анализировать почвенно-растительный покров, геологию и гидрологию суши. При этом все неестественные, антропогенные и техногенные изменения фиксируются в виде аномалий. Например, комбинация полос 4, 3, 2 – передаёт естественный цвет; 5, 4, 3 – инфракрасный; 7, 6, 2 полезен для изучения геологии. Наиболее интересным нам представляется канал 8 – панхроматический. Он универсален, имеет наибольшее разрешение и может использоваться как подложка для совмещения его с отдельными каналами для повышения точности снимаемых данных (рис. 3)* (*рисунки 2–5 подготовлены А.Р. Мухаметзяновым).

Эти системы давно признаны в современной археологии и активно применяются в исследованиях, связанных с дистанционным зондированием, хотя исследователями признаются определённые издержки [Agariou 2020; Opitz, Herrmann 2018].

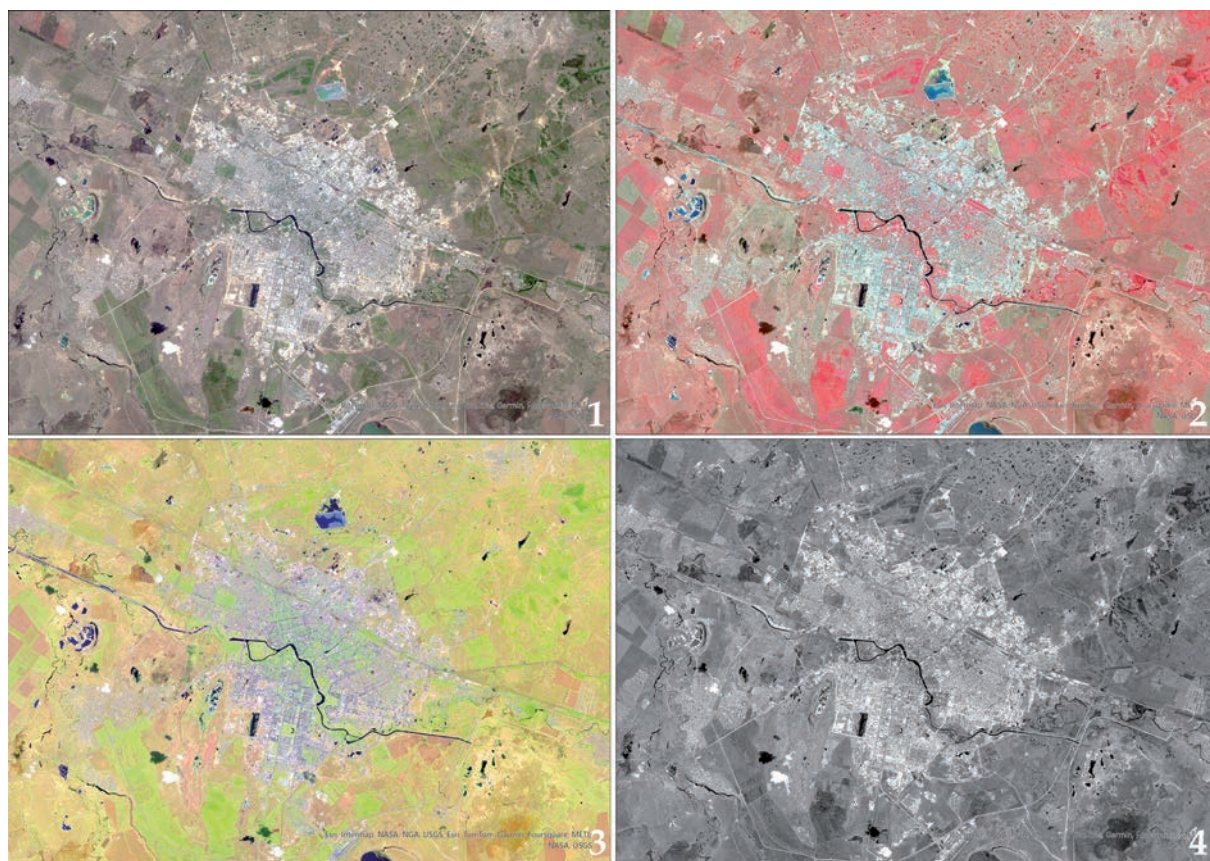


Рис. 3. Композиции каналов разных спектров спутника *Landsat 8*:

1 – комбинация каналов в естественном цвете; 2 – комбинация каналов в инфракрасном излучении; 3 – комбинация каналов для мониторинга состояния посевных площадей; 4 – панхроматический канал

3-сур. *Landsat 8* спутнигінің әртүрлі спектрлері арналарының құрамы:

1 – табиғи түстегі арналар комбинациясы; 2 – инфрақызыл сәулеленудегі арналардың комбинациясы; 3 – егістік алқаптарының жағдайын бақылауға арналған арналар комбинациясы, 4 – панхроматикалық арна

Fig. 3. Compositions of channels of different spectra of the *Landsat 8* satellite: 1 – combination of channels in natural color; 2 – combination of channels in infrared radiation; 3 – combination of channels for monitoring the condition of crop areas, 4 – panchromatic channel



Для бóльшей синхронности данных в разработке применялись снимки в промежутке между 8 и 20 числами августа 2022 года. Такой выбор не является случайным, он связан, во-первых, с относительно близкими параметрами влажности почв (по датам), а во-вторых, с малой облачностью Акмолинской области в этот календарный период. В качестве данных о водных ресурсах региона выступили подложки в виде карт *Google*. Для фиксации авто- и ж/д- магистральных путей – материалы веб-картографического проекта *OpenStreetMap*. Для построения цифровой модели высот были использованы снимки *SRTM* с абсолютным разрешением в 30 метров (1 угловая секунда).

В общей сложности было обработано 1272 снимка, инструментом сложения мозаики из раstra была создана подложка в виде цифровой модели рельефа и карты Акмолинской области по снимкам спутниковой системы *Landsat 8*. Также карта отражает локализацию современных населённых пунктов, состояние травяного покрова, лесов, рек, озёр, возделываемых участков.

База данных археологических памятников (1032 ед.), представленная на карте, также формировалась за счёт нескольких источников. Принцип её реализации во многом повторяет тот тренд, который задала Археологическая карта Казахстана, с той лишь разницей, что теперь пространственная привязка объекта не только визуальная, но ещё и хранит в себе GPS координаты. В соответствии с тем, как бумажная карта 1960 г. стала первым шагом в массовом картографировании памятников старины, так и в нашей работе она оказалась первым звеном, с которого начался сбор основной информации. Сам по себе процесс цифровизации старых топографических или иных карт давно не является новшеством, со временем упрощаются лишь алгоритмы. Задачи, при прочих равных вводных, не изменяются.

Другим немаловажным источником стали результаты мониторинга и исследований последних десятилетий т. н. своды памятников истории и культуры. Логично, что нами в данном случае использовался справочник по Акмолинской области. Он является удобным ресурсом основной информации о памятнике, а также визуальном его представлении в виде топографических планов и фотографий. Хотя локальные привязки даны весьма условно, именно этот свод стал важной составляющей частью базы данных в плане наполнения его сведениями об объектах [Свод памятников 2009].

И, наконец, третьей составной частью стал государственный список памятников истории и культуры, утверждённый акиматом Акмолинской области, постоянно обновляемый и регулируемый. Такие государственные списки имеют большое значение с точки зрения мониторинга состояния памятников, уже прошедших регистрацию, и объектов, состоящих на предварительном учёте. GPS-координаты, приведённые в реестре, сыграли ключевую роль в локализации археологического наследия области.

2.3 Создание ГИС карты археологических памятников Акмолинской области

В практическом смысле процесс создания карты лежит в двух плоскостях. С одной стороны, это работа с данными ГИС, в числе которых открытые исходники, как, например, уже упомянутый *OpenStreetMap* или же материалы *Living Atlas* (Живой Атлас) от компании *Esri*. С другой, анализ и дальнейшая обработка данных ДЗ. В научной литературе достаточно подробно изложен как методологический, так и прикладной аспект работы с последним. Пространственный анализ, как одно из направлений дистанционного зондирования, успешно применяется не только для исследований ландшафтов, но и антропогенного влияния на них, будь то возделывание земли, осушение болот, строительство курганов и поселений [Alexakis et al. 2009; 2011; Agapiou, Lysandrou 2015; Agapiou et al. 2017: 7; Agapiou, Sarris 2018: 10; Luo et al. 2019; Magnini, Bettineschi 2019].

Для создания карты применялось уже упомянутое ПО *ArcGIS* версии 3.2 лицензия *Advanced*, коррекция данных *SRTM* и мультиспектральных снимков производилось на свободно распространяемом приложении *SAGA GIS* и ПО *ENVI*. Карта выполнялась в проекции *UTM* (*Universal Transverse Mercator*) зона 42U.

Процесс создания карты состоит из нескольких этапов:

- 1) Создание набора данных (геоподложки) на основании космоснимков;
- 2) Создание единой карты местности (карты высот, ортогональной карты земной поверхности);



- 3) Включение в базу данных информации об основных линиях логистики;
- 4) Создание базы данных водных ресурсов и речных путей;
- 5) Наложение слоя населённых пунктов;
- 6) Ввод в базу данных пространственной информации об археологических памятниках Акмолинской области.

Первый этап заключается в создании единой подложки, формируемой для дальнейшей работы с информацией о природно-географических особенностях Акмолинской области. Создание такого рода набора данных включает в себя подбор спутниковых снимков региона и дальнейшее объединение их с целью получения единой картины. В случае с этим проектом нами были созданы две подложки. Первая – карта высот, сформированная путём объединения цифровых снимков местности Акмолинского региона. Нами использовались снимки с разрешением в 1 угловую секунду (приблизительно 30 м на пиксель), что значительно повышает точность итоговых результатов обработки. Эти снимки получены на сайте геологической службы США. Общее количество обработанных снимков составило 39. Подбор их осуществлялся путём построения прямоугольного полигона по границам Акмолинской области. Дальнейшая обработка заключалась в построении из разрозненных снимков мозаики и вырезания полученного результата по экстенду. Последними выступали административные границы Акмолинской области. Следующим этапом было построение подложки с отмывкой рельефа. При этом установленные параметры отмывки составляли 315° (азимутальный угол Солнца) и угол солнечного освещения 45° . Масштабирование высотного коэффициента – 7, связано это с чрезмерно большим пространством геообработки, когда на фоне более высоких точек рельефа менее заметные сглаживаются. Дальнейший процесс заключался в создании подложки с цветным растяжением (преобразованием чёрно-белого ЦМР снимка в цветной) и попарного наложения получившихся результатов. Таким образом одна из подложек карты имеет не только цветной окрас, но и объёмный ландшафт для более простого ориентирования (рис. 4).

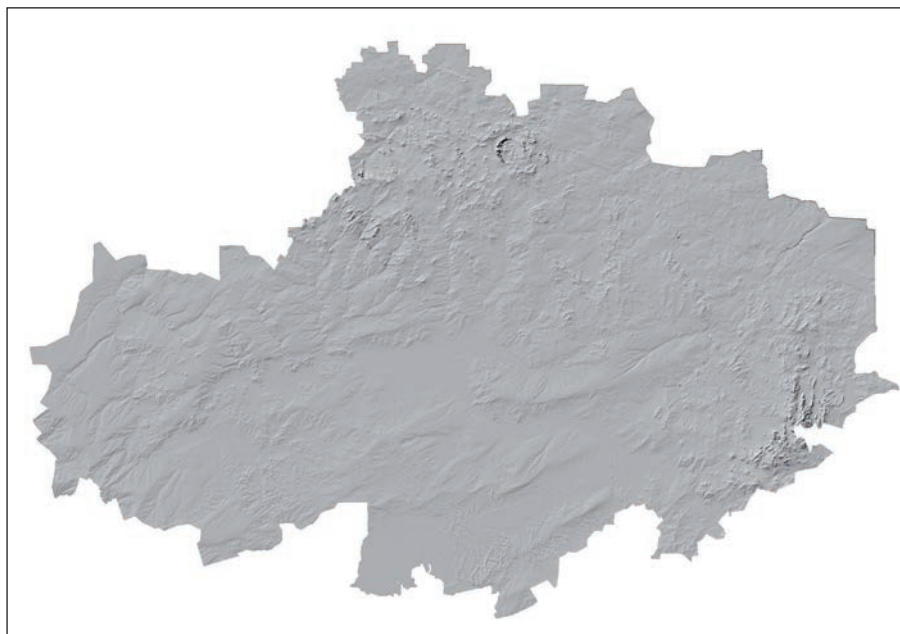


Рис. 4. Цифровая модель рельефа Акмолинской области
4-сур. Ақмола облысы бедерінің цифрлық моделі
Fig. 4. Digital elevation model of Akmolinskaya region



Вторая подложка была построена на основании снимков спутников *Landsat 8/9 C2 Level 2* (обработанные снимки с учётом влияния атмосферы), из 11 каналов в обработке доступно 9. Процесс подбора снимков был схож с построением подложки на основе ЦМР, разница заключалась в специальных критериях. Для более точного получения результата в построении единой карты применялись снимки с облачностью ниже 10% и только двух недель августа 2022 года. Для уточнения отдельных участков карты применялись снимки того же месяца 2021 и 2020 годов. Процесс обработки состоял из трёх этапов: слияние отдельных спектральных каналов в один растровый файл, и построение мозаики на основании сформированных таким образом растров. Некоторые результаты дополнительно корректировались в ПО *SAGA GIS* и *ENVI*. В результате была получена подложка, вырезанная по экстену Акмолинской области, позволяющая совмещать все типы спектральных данных, предоставляемых на уровне обработки 2. Целью формирования этой подложки было получение спектральных данных о густоте растительности, степени влажности почв, границ внутренних вод и речных каналов (рис. 5).

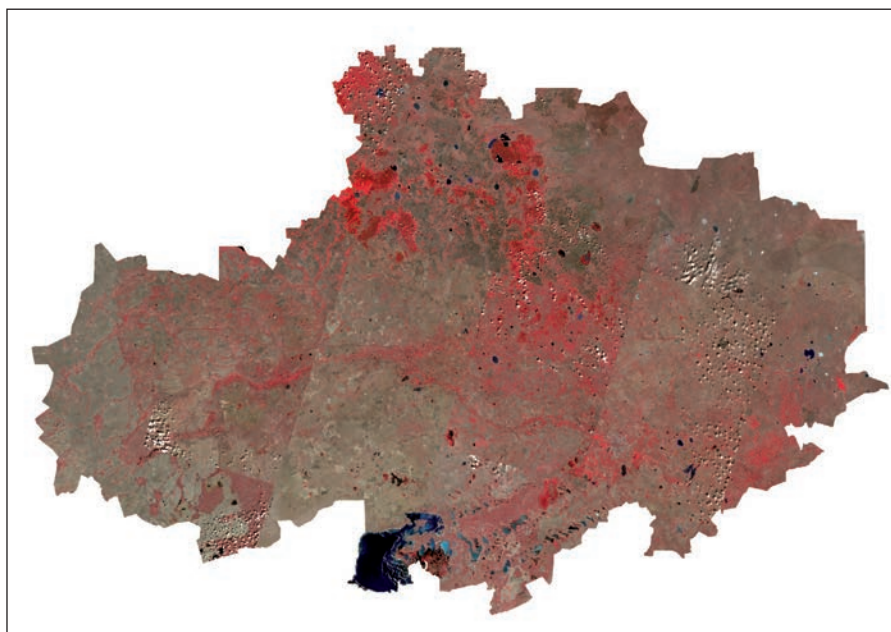


Рис. 5. Мозаика из снимков спутника *Landsat 8*: комбинация 5-4-3 (инфракрасный)
5-сур. *Landsat 8* спутниктік түсірілімдерінен алынған мозаика: 5-4-3 комбинациясы (инфрақызыл)
Fig. 5. Mosaic from *Landsat 8* satellite images: combination 5-4-3 (infrared)

Карта автомобильных и железнодорожных путей Акмолинской области была получена из открытых данных *OpenStreetMap*. Дороги представляют из себя векторизованные изображения, разделённые по типу, построенные на основании GPS данных. Такая же ситуация с железнодорожными путями. Среди положительных черт полученных данных об автомобильных дорогах можно отметить их разделение по классам, лишние дороги (внутригородские, пешеходные, велосипедные) были удалены за ненадобностью. В качестве отображённых были сохранены только главные автомагистрали и второстепенные асфальтированные и грунтовые дороги. Причина, по которой на карту были внесены основные транспортные маршруты, – удобство ориентирования для дальнейших исследований.



Создание базы данных водных ресурсов и речных путей опиралось на открытую базу данных MIT (в случае с речными путями) и геологической службы США (в случае с прочими водными источниками), а также на данные *Google Maps* и *Google Earth*. Эти данные являются особенно важными по причине логики выбора местности населением предшествующих эпох, речные пути играли роль не только источника воды или направляющих естественных маршрутов, но и являлись естественными фортификационными линиями, что притягивало к себе большую массу жителей. Похожая ситуация складывалась и с водными ресурсами типа озёр, их влиянием на формирование вокруг себя устойчивых человеческих сообществ не оспоримо.

Слой населённых пунктов, как и слой железнодорожных и автомобильных маршрутов, был наложен исключительно с точки зрения упрощения пространственной работы с картой, однако мы не можем исключать зависимости между отдельными населёнными пунктами и археологическими памятниками. В любом случае утверждения, связанные с такими параллелями, требуют специального исследования с применением пространственного анализа.

Заключительным этапом работы являлась интеграция БД археологических памятников Акмолинской области в созданную нами карту. База данных представляет собой унифицированную таблицу, включающую в себя несколько важных параметров: номер памятника (в соответствии с упомянутым реестром), название, тип, хронологическая привязка, географическая привязка. Для создания указанных граф были обработаны данные по 1032 памятникам Акмолинской области. Отдельной задачей был процесс перевода географических координат (представленных в реестре) в десятичные, для возможности обработки их программой ArcGIS. Для ускорения процесса перевода градусов/минут/секунд в десятичные значения была использована специальная функция, принцип работы которой основан на простой формуле:

$$a^{\circ}b'c'' = (a + b/60 + c/3600)^{\circ}$$

где, a – градусы, b – минуты, c – секунды.

Обработка информации заключалась также в дополнительной проверке, по которой установлено несоответствие некоторых граф координат реальному расположению памятника. Памятники, точную локализацию которых определить не удавалось хотя и были сохранены в самой базе данных, на карту в качестве точечного слоя не вносились.

Структурно база данных состоит из трёх основных и трёх дополнительных таблиц, включающих в себя археологические памятники, эпохи и объекты на памятнике (табл. 1–3).

Таблица 1 – Памятник в базе данных ГИС «Археологическая карта Акмолинской области»
1-кесте – «Ақмола облысының археологиялық картасы» ГАЖ деректер қорындағы ескерткіш
Table 1 – The monument in the GIS database “Archaeological map of Akmola region”

ID Памятника	Уникальный идентификатор памятника
Название	Название археологического памятника
Местоположение	Пространственные координаты памятника
Описание	Краткое описание памятника
Датировка	Общая датировка памятника, если доступна

Таблица 2 – Эпоха в базе данных ГИС «Археологическая карта Акмолинской области»
2-кесте – «Ақмола облысының археологиялық картасы» ГАЖ деректер қорындағы дәуірі
Table 2 – Epoch table in the GIS database “Archaeological map of Akmola region”

ID Эпохи	Уникальный идентификатор эпохи
Название_Эпохи	Название исторической эпохи (напр., бронзовый век)



Таблица 3 – Объект в базе данных ГИС «Археологическая карта Акмолинской области»
3-кесте – «Ақмола облысының археологиялық картасы» ГАЖ деректер қорындағы нысан
Table 3 – Object in the GIS database “Archaeological map of Akmola region”

ID_Объекта	Уникальный идентификатор объекта
ID_Памятника	Идентификатор памятника, с которым связан объект
Тип_объекта или группы объектов	Название объекта (например курган-ограда)
Описание_Объекта	Описание объекта
Эпоха	Ссылка на ID_Эпохи из таблицы Эпохи

Также в базу данных включены три дополнительных таблицы: «Артефакты», «Исследования», «Мультимедиа». Каждая из них содержит основную информацию, доступную по памятнику на данный момент, будь то топографические планы, фотографии, ссылки на статьи или монографии, в которых содержится информация по памятнику. Все таблицы связаны между собой по правилу *One-to-Many* (Один-ко-многим), где одна запись в одной таблице соответствует нескольким записям в другой. Так, например, запись один-ко-многим между таблицами «Археологические памятники» и «Объекты на памятнике» позволяет иметь несколько объектов разных видов. Это применимо в тех случаях, когда могильник разновременный (в процесс включается также один-ко-многим эпох) и содержит разные типы надмогильных сооружений, например, курган, курган-ограда и так далее.

Другим важным аспектом является индексация объектов, помимо «ID_Памятника» мы можем применять вторичную индексацию по наиболее частым запросам к базе. Так, например, атрибутивная индексация ускоряет поиски по атрибутам (по имени памятника или типу объекта). Пространственная индексация улучшает производительность при работе с пространственными запросами, допустим, в тех случаях, когда мы работаем с выборками по объектам в определённом районе области.

Итак, БД археологических памятников представляет собой структуры, вмещающие основную информацию, связанную с каждым отдельно взятым объектом, эпохой, мультимедиа. Программное обеспечение *ArcGIS* предоставляет множество вариантов для решения подобных задач, создания баз данных и их дальнейшего обслуживания. Доступ к карте в формате online – на сайте НИИ им. К.А. Акишева [akishev institute] (рис. 6).

3 Обсуждение (Мухаметзянов А.Р., Хабдулина М.К.)

Задача картографа как специалиста – приведение своей работы к максимальному соответствию с изображаемой действительностью. Возникающие в ходе работы недостатки должны быть устранены и желательно в кратчайшие сроки. Особенно это важно, когда речь идёт о картографическом или пространственном анализе. В этом смысле ГИС карта – удобное средство с точки зрения быстрого исправления ошибок. При этом во многом технологии уменьшают влияние человеческого фактора (или сводят его к нулю) на каждом отдельно взятом этапе работы. Убеждены, что с течением времени описанные выше задачи превратятся в рутину для компьютеров и нейросетей. Уже сейчас геоинформационные системы активно применяют машинное обучение и автоматизируют некоторые процессы. Пока же необходимо отметить несколько моментов, которые сопряжены с человеческим фактором опосредованно или напрямую.

Во-первых, заметное влияние на точность отображаемых данных оказывают результаты фиксации. Речь здесь идёт не о технической стороне, а об ошибках, которые могут быть совершены на этапе регистрации памятников: переноса данных с GPS навигатора в реестр и так далее. Несомненно, что большая часть объектов определяется визуально со спутниковых снимков, однако же малые курганы, ограды или стоянки эпохи камня практически на них неразличимы.

Во-вторых, вопросы интерпретации результатов, полученных в ходе пространственного анализа. Этот пункт напрямую вытекает из первого, ошибки в определении памятников могут привести к неверной посылке и, соответственно, ошибочному выводу.

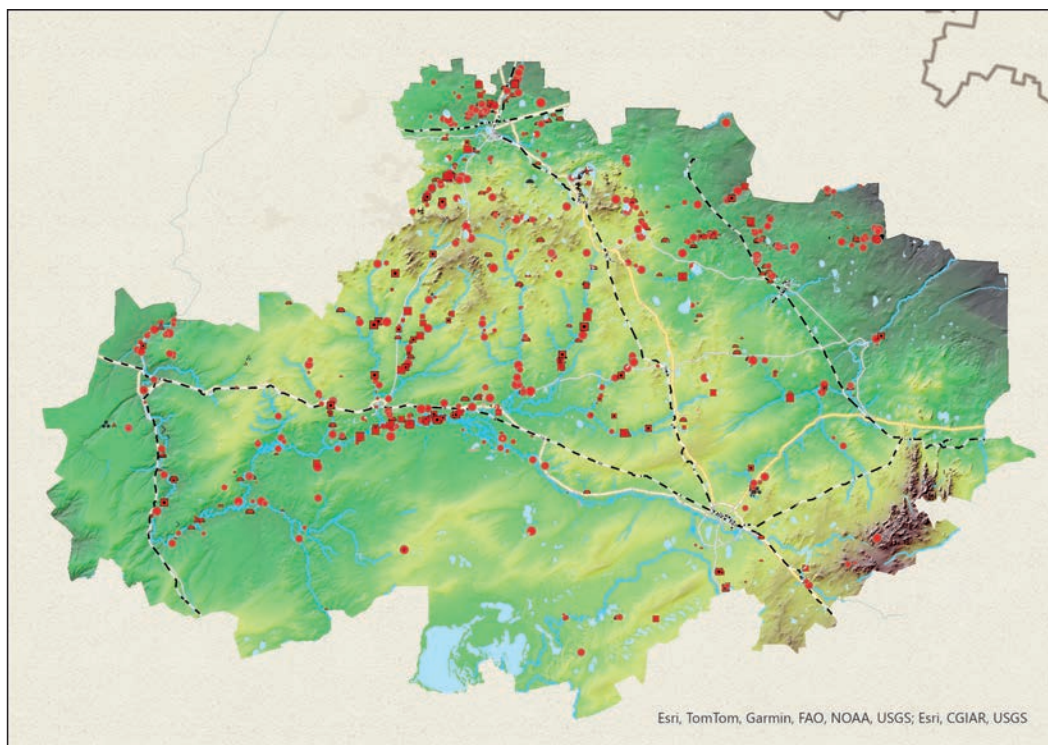


Рис. 6. Археологическая карта Акмолинской области
6-сур. Ақмола облысының археологиялық картасы
Fig. 6. Archaeological map of Akmola region

В-третьих, социокультурные вопросы, а также вопросы охраны и управления. Объективно, у специалистов-археологов не всегда есть возможность отслеживать в режиме реального времени состояние того или иного объекта. Определение степени сохранности обычно требует выезда в поле, так как космоснимки *Google* обновляются со значительным лагом. Уничтожение памятников в ходе строительных работ, разграблений и другие антропогенные вмешательства могут также оказать влияние на результаты проводимого исследования.

Отчасти геоинформационные технологии нивелируют некоторые из этих проблем. Специальные спутниковые системы обладают гораздо меньшим интервалом обновления данных, а изменения состояния воды и суши мы можем фиксировать мультиспектральными данными *Landsat* или *Sentinel*. Однако же по-настоящему избавиться от таких «родимых пятен» и издержек, следующих за картографией как наукой, не представляется возможным.

При этом нельзя не упомянуть о важных преимуществах ГИС, активно используемых на сегодняшний день археологами по всему миру.

Во-первых, это локализация памятников посредством использования методов дистанционного зондирования. Такие методы, как прогностическое моделирование или объектная сегментация данных, позволяют обнаруживать новые, неоткрытые ещё памятники, отслеживать состояние уже открытых объектов. Мы надеемся, что работа, которую мы проводим в этом направлении, в том числе посредством привлечения машинного обучения к обнаружению памятников методами дистанционного зондирования, может принести заметные плоды и послужить подспорьем всей казахстанской археологии.

Во-вторых, геоинформационные системы позволяют строить и анализировать маршруты, что может быть полезно в исследовании караванных путей – особенно актуальная тема для современной казахстанской исторической науки.



В-третьих, так называемый археологический проспектинг: планирование будущих работ, выстраивание задач, стоящих перед экспедицией.

Всё это, как нам кажется, должно находить применение в современной археологической науке. Сращивание классических методов с современными подходами в перспективе может показать заметные результаты.

4 Заключение (Мухаметзянов А.Р., Хабдулина М.К.)

Построение представленной карты является лишь первым шагом с точки зрения её применения в археологическом исследовании. Перед нами стоит сложная задача по формированию перманентной ГИС среды, имеющей возможность быстрого обновления и широкого доступа. Несмотря на то, что с картой можно взаимодействовать уже сейчас и проведённые эксперименты по сегментации данных и обнаружению памятников дали свои результаты, геоинформационные технологии все ещё не представляют полноценный инструмент в казахстанской археологии.

Результаты, которые мы получим, постепенно внедряя новые технологии в изыскания, ответят на вопрос – как скоро они превратятся в такой же равноправный инструмент археолога, как лопата или кисточка. Однако уже сейчас мы можем смело говорить о формировании нового облика археологического картографирования.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 АКК – Археологическая карта Казахстана / Сост. Е.И. Агеева, К.А. Акишев, Г.А. Кушаев, А.Г. Максимова, Т.Н. Сенигова. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1960. 449 с.
- 2 Артемьев Е.В., Дроздов Н.И., Зайцев Н.К., Шапарев Н.Я., Якубайлик О.Э., Шахматов А.В. Создание геоинформационной системы «Археологические памятники Красноярского края» // Вычислительные технологии. 1998. Т. 3. № 5. С. 5–10.
- 3 Афанасьев Г.Е., Савенко С.Н., Коробов Д.С. Древности Кисловодской котловины. Москва: Научный мир, 2004. 240 с.
- 4 Байпаков К.М., Воякин Д.А., Амиров Е.Ш., Сейткалиев М.К. Геоинформационные системы как инструмент защиты и анализа археологического наследия Республики Казахстан // Известия НАН РК. Сер. обществ. и гум. наук. 2014. № 5. С. 195–206.
- 5 Беглецова С.В., Князева Л.Ф., Телегина М.В. Создание геоинформационной системы памятников археологии Удмуртской Республики // КСИА. 2006. Вып. 220. С. 184–193.
- 6 Белим С.В., Бречка Д.М., Горбунова Т.А., Ларионов И. Б., Шмидт И.В. Интеллектуальная геоинформационная система археологических объектов // Математические структуры и моделирование. 2016. № 3 (39). С. 119–125.
- 7 Васильев С.А. АИС «Археограф»: Система описания археологических памятников и вывода данных в ГИС // Археология и компьютерные технологии: представление и анализ археологических материалов / Отв. ред.: М.Г. Иванова, И.В. Журбин. Ижевск: Удмуртский ин-т истории, языка и литературы УрО РАН, 2005. С. 13–21.
- 8 Житова Е.Н., Шлемпа О.А. Технология создания цифровой карты археологических памятников Чувашской Республики // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2017. Т. 23. № 2. С. 33–39.
- 9 Кошеленко Г.А., Гаибов В.А., Требелева Г.В. Археологическая геоинформационная система Маргианы // Археология и геоинформатика. 2007. URL: <https://www.archaeolog.ru/media/periodicals/agis/AGIS-4/Koshelenko/koshelenko.html> (дата обращения: 07.03.2024)
- 10 Макаров Н.А., Зеленцова О.В., Коробов Д.С., Ворошилов А.Н. Пространство древности: археологические памятники на карте России // Вестник РАН. 2017. Т. 87. № 7. С. 622–634.
- 11 Макаров Н.А., Зеленцова О.В., Коробов Д.С., Ворошилов А.Н., Черников А.П. Геоинформационная система «Археологические памятники России»: методические подходы к разработке и первые результаты наполнения // КСИА. 2015. Вып. 237. С. 7–19.
- 12 Пуртов А.М., Татауров С.Ф., Шлюшинский А.В. Разработка ГИС «Археологические памятники юга Западной Сибири» // Омский научный вестник. 2006. № 7 (43). С. 140–143.
- 13 Свод памятников истории и культуры Республики Казахстан. Акмолинская область. Алматы: Аруна, 2009. 568 с.



- 14 Степанов В.Б., Хамакава М., Красильникова Н.А. Геоинформационная система «Археологическая карта Московской области» как инструмент в области охраны объектов археологического наследия // КСИА. 2022. Вып. 267. С. 275–289.
- 15 Тлеугабдулов Д.Т., Дукомбайев А.Т., Брынза Т.В. Сохранение сырцово-глиняной архитектуры Тенгиз-Коргалжынской впадины с использованием 3D-технологий // Oriental Studies. 2022. Vol. 15. Is. 5. Pp. 1094–1109.
- 16 Хабдулина М.К., Кошман Т.В., Егинбай А.Е. Грандиозный проект археологического картографирования XX века: целинная экспедиция К.А. Акишева в Приишимье // Археология Казахстана (Қазақстан археологиясы). 2023. № 3 (21). С. 17–31.
- 17 Agapiou, A. Evaluation of Landsat 8 OLI/TIRS Level–2 and Sentinel 2 Level–1C Fusion Techniques Intended for Image Segmentation of Archaeological Landscapes and Proxies // Remote Sensing. 2020. URL: <https://doi.org/10.3390/rs12030579> (дата обращения: 20.02.2024)
- 18 Agapiou, A., Lysandrou V. Remote Sensing Archaeology: Tracking and mapping evolution in scientific literature from 1999–2015 // JAS. 2015. Vol. 4. Pp. 192–200.
- 19 Agapiou, A., Lysandrou V., Sarris A., Papadopoulos N., Hadjimitsis D.G., Fusion of Satellite Multispectral Images Based on Ground–Penetrating Radar (GPR) Data for the Investigation of Buried Concealed Archaeological Remains. // Geosciences. 2017. Vol. 7. P. 40–59.
- 20 Agapiou, A., Sarris, A. Beyond GIS Layering: Challenging the (Re)use and Fusion of Archaeological Prospection Data Based on Bayesian Neural Networks (BNN) // Remote Sens. 2018. Vol. 10 (11). Pp. 3–22.
- 21 akishev institute. URL: <https://akishev.institute.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=d10a5835d1974a268a2dba22394b8bb6> (accessed: 07/03/2024)
- 22 Alexakis, D., Sarris A., Astaras T., Albanakis K. Detection of neolithic settlements in thessaly (Greece) through multispectral and hyperspectral satellite imagery // Sensors. 2009. Vol. 9 (2). Pp. 1167–1187.
- 23 Alexakis, A., Sarris A., Astaras T., Albanakis K. Integrated GIS, remote sensing and geomorphologic approaches for the reconstruction of the landscape habitation of Thessaly during the Neolithic period // JAS. 2011. Vol. 38 (1). Pp. 89–100.
- 24 Gillespie, S.D. Archaeological drawings as re-presentations: The maps of complex A, La Venta, Mexico // Latin American Antiquity. 2011. Vol. 22. No. 1. Pp. 3–36.
- 25 Luo, L., Wang, X., Guo, H., Lasaponara, R.; Zong, X., Masini, N., Wang, G., Shi, P., Khatteli, H., Chen, F., et al. Airborne and spaceborne remote sensing for archaeological and cultural heritage applications: A review of the century (1907–2017) // Sens. Environ. 2019. Vol. 232. pp. 3–34.
- 26 Magnini, L., Bettineschi, C. Theory and practice for an object–based approach in archaeological remote sensing // JAS. 2019. Vol. 107. Pp. 10–22.
- 27 Opitz, R., Herrmann, J. Recent Trends and Long–standing Problems in Archaeological Remote Sensing // J. Comput. Appl. Archaeol. 2018. Vol. 1(1). Pp. 19–41.
- 28 Rocha, L., Branco G. Archaeological maps: methods and techniques for territorial analysis // ArcheoSciences. 2009. No. 33 (suppl.). Pp. 141–142
- 29 Rhind, D. A GIS research agenda // International Journal of Geographical Information Systems. 1988. Vol. 2. Iss. 1. Pp. 23–28.

REFERENCES

- 1 Ageyeva, Ye. I., Akishev, K. A., Kushayev, G. A., Maksimova, A. G., Senigova, T. N. (compl.). 1960. *Arkheologicheskaya karta Kazakhstana (Archaeological map of Kazakhstan)*. Alma-Ata: Academy of Sciences of the KazSSR (in Russian).
- 2 Artemyev, E. V., Drozdov, N. I., Zaytsev, N. K., Shaparev, N. Ya., Yakubailik, O. E., Shahmatov, A. V. 1998 In: *Vychislitelniye tehnologii (Computing technologies)*, 3, 5–10 (in Russian).
- 3 Afanasyev, G. E., Savenko, S. N., Korobov, D. S. 2006 *Drevnosti Kislovodskoy kotloviny (Antiquity of the Kislovodsk basin)*. Moskva: “Nauchnyj mir” Publ. (in Russian).
- 4 Bajpakov, K. M., Voyakin, D. A., Amirov, E. Sh., Sejtkaliev, M. K. 2014. In: *Izvestiya Natsionalnoj akademii nauk Respubliki Kazakhstan. Seriya obshchestvennykh i gumanitarnykh nauk (News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Social Sciences and Humanities Series)*, 5, 195–206 (in Russian).
- 5 Begleczova, S. V., Knyazeva, L. F., Telegina, M. V. 2006. In: *Kratkie soobshcheniya Instituta arkheologii (Brief communications of the Institute of Archaeology)*, 220, 184–193 (in Russian).
- 6 Belim, S. V., Brechka, D. M., Gorbunova, T. A., Larionov, I. B., Schmidt, I. V. 2016. In: *Matematicheskie struktury i modelirovanie (Mathematical Structures and Modeling)*, 3 (39), 119–125 (in Russian).



- 7 Vasilev, S. A. 2005. In: Ivanova M G., Zhurbin I. V. (ed.). *Arkheologiya i kompyuternye tekhnologii: predstavlenie i analiz arkheologicheskikh materialov (Archaeology and computer technology: presentation and analysis of archaeological materials)*, 13–21 (in Russian).
- 8 Zhitova, E. N., Shlempa, O. A. 2017. In: *ИнтерКарто. ИнтерГИС (InterKarto. InterGIS)*, 23 (2), 33–39 (in Russian).
- 9 Koshelenko, G. A., Gaibov, V. A., Trebeleva, G. V. 2007. In: *Archeologija i geoinformatika (Archaeology and geoinformatics)* URL: <https://www.archaeolog.ru/media/periodicals/agis/AGIS-4/Koshelenko/koshelenko.html> (дата обращения: 07.03.2024) (in Russian).
- 9 Makarov, N. A., Zelentsova, O. V., Korobov, D S., Voroshilov, A. N. 2017. In: *Vestnik Rossiiskoy Akademii Nauk (Bulletin of the Russian Academy of Sciences)*, 87, 7, 622–634 (in Russian).
- 10 Makarov, N. A., Zelentsova, O. V., Korobov, D. S., Voroshilov, A. N., Chernikov, A. P. 2015. In: *Kratkiye soobshcheniya Instituta Arkheologii (Brief Communications of the Institute of Archaeology)*, 237, 7–19 (in Russian).
- 11 Purto, A. M., Tataurov, S. F., Shlyushinsky, A. V. 2006. In: *Omskij nauchny`j vestnik (Omsk Scientific Bulletin)*, 7, (43), 140–143 (in Russian).
- 12 *Svod pamyatnikov istorii i kultury Respubliki Kazakhstan Aqmolinskaya oblast (The official list of historical and cultural monuments of the Republic of Kazakhstan. Akmola region)*. 2009. Almaty: “Aruna” Publ. (in Russian).
- 13 Stepanov, V. B., Hamakawa, M., Krasilnikova, N. A. 2022. In: *Kratkiye soobshcheniya Instituta Arkheologii (Brief Communications of the Institute of Archaeology)*, 267, 275–289 (in Russian).
- 14 Tleugabulov, D. T., Dukombaiev, A. T. Brynza, T. V. 2022. In: *Oriental Studies*, 15, 5, 1094–1109. (in Russian).
- 15 Khabdulina, M. K., Koshman, T. V., Eginbay, A. E. 2023. In: *Kazakstana arkeologiyasy (Kazakhstan Archeology)*, 3 (21), 17–31 (in Russian).
- 16 Agapiou, A. 2020. In: *Remote Sensing*. URL: <https://doi.org/10.3390/rs12030579> (accessed: 20.02.2024) (in English).
- 17 Agapiou, A., Lysandrou, V. 2015. In: *JAS*, 4, 192–200 (in English).
- 18 Agapiou, A., Lysandrou, V., Sarris, A., Papadopoulos, N., Hadjimitsis, D. G. 2017. In: *Geosciences*, 7, 40–59 (in English).
- 19 Agapiou, A. Sarris, A. 2018. In: *Remote Sensing*, 10 (11), 3–22 (in English).
- 20 akishevstitute. URL: <https://akishevstitute.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=d10a5835d1974a268a2dba22394b8bb6> (accessed: 07/03/2024)
- 21 Alexakis, D., Sarris, A., Astaras, T., Albanakis, K. 2009. In: *Sensors*, 2009, 9 (2), 1167–1187 (in English).
- 22 Alexakis, A., Sarris, A., Astaras, T., Albanakis, K. 2011. In: *JAS*, 38 (1), 89–100 (in English).
- 23 Gillespie, S D. 2011. In: *Latin American Antiquity*, 22 (1), 3–36 (in English).
- 24 Luo, L., Wang, X., Guo, H., Lasaponara, R.; Zong, X., Masini, N., Wang, G., Shi, P., Khatteli, H., Chen, F., et al. 2019. In: *Remote Sensing of Environment*, 232, 3–34 (in English).
- 25 Magnini, L., Bettineschi, C. 2019. In: *JAS*, 107, 10–22 (in English).
- 26 Opitz, R., Herrmann, J. Recent Trends and Long-standing 2018 In: *Journal of Computer Applications in Archaeology*, 1(1), 19–41 (in English).
- 27 Rocha, L., Branco, G. 2009. In: *ArcheoSciences*, 33, 141–142 (in English).
- 28 Rhind, D., 1988. In: *International Journal of Geographical Information Systems*, 2 (1), 23–28 (in English).

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: 28.02.2024.
Рецензенттер мақұлдаған / Одобрено рецензентами / Approved by reviewers: 07.03.2024.
Жариялауға қабылданды / Принята к публикации / Accepted for publication: 07.03.2024.

