

Болелов С.Б.^а, Коврижкина М.М.^б, Колганова Г.Ю.^с, Никифоров М.Г.^д,
Семикопенко Г.П.^д

^а Государственный музей искусства народов Востока, Никитский бульвар, 12а, Москва, 119019

^б Московский гуманитарный университет, ул. Юности, 5, Москва, 111395

^с Институт Востоковедения РАН, ул. Рождественка, 12, Москва, 107031

^д ФГБОУ ВО МГЛУ, ул. Остоженка, 38, стр. 1, Москва, 119034

E-mail: bsb1958@yandex.ru (Болелов С.Б.); kolibri-hr@yandex.ru (Коврижкина М.М.);

kolganova_gy@mail.ru (Колганова Г.Ю.); followup@mail.ru (Никифоров М.Г.);

semikopenkogr@hotmail.com (Семикопенко Г.П.)

ПРИМЕНЕНИЕ КАРТ ГЕНШТАБА СССР ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КООРДИНАТ ДЛЯ ЗАДАЧ АРХЕОЛОГИИ

Исследован вопрос привязки координатной сетки карт Генштаба СССР образца 1985 г. к координатам Google Earth с целью получения высокоточных данных о расположении археологических памятников. Предложена простая методика пересчета из координатной системы СК-42 в WGS-84 и обратно в виде аддитивных поправок к географическим координатам. Получены оценки случайных ошибок, которые обусловлены погрешностью составления и анализа карт. Хотя численные оценки были сделаны для территории исторического Хорезма, наиболее вероятно, что те же преобразования могут использоваться для других территорий. Описанная методика успешно применена к памятникам Якке-Парсанского канала.

Ключевые слова: археологические памятники, определение географических координат, математическая обработка карт, Хорезм.

Стремительное развитие информационных технологий позволяет создавать универсальные инструменты моделирования эволюционных и социально-экономических процессов. В археологии одним из таких инструментов являются геоинформационные системы (ГИС) [Дмитриева и др., 2012; Макаров и др., 2015]. Однако создание ГИС упирается в недостаток информации — в результате человеческой деятельности многие археологические объекты попали в зону современного освоения и были уничтожены. При проведении охранных работ, предшествующих освоению территорий, исследуются главным образом наиболее значимые объекты, а все остальные обычно изучаются поверхностно. Поэтому чаще всего мы не располагаем данными по основной части памятников, что препятствует созданию исчерпывающих информационных систем применительно к задачам археологии.

Необходимые геоданные можно получить с помощью анализа спутниковых снимков высокого разрешения, которые предлагает на возмездной основе Американское геологическое общество¹. В случае обнаружения объекта на изображении математическая обработка позволяет получить точные географические координаты объекта, геометрические размеры, пространственную ориентацию и с высокой долей вероятности установить его классификацию. Данный метод имеет два очевидных ограничения: памятник должен иметь хорошую сохранность и уверенно обнаруживаться из космоса.

В ряде случаев, только посмотрев на снимок классифицируемого объекта, мы сразу можем отнести его к категории «археологический памятник», подразумевая под этим принадлежность к искусственным древним или средневековым сооружениям. Поскольку нам хорошо известно, как выглядят типовые объекты «крепость», «усадебный дом» и «поселение», то обычно классификация производится по совокупности признаков, которые можно условно разделить на архитектурные и антропогенные. Архитектурные признаки описывают сам объект как монументальное сооружение: наличие стен, фортификационных сооружений, цитадели. Антропогенные признаки описывают состояние территории рядом с памятником. К этим признакам мы относим наличие следов ирригации, древних полей, отсутствие в окрестности памятника современных сооружений.

На практике часто возникает ситуация, когда нельзя уверенно классифицировать объект — изображение на снимке может быть современной постройкой, археологическим памятником,

¹ United State Geological Society (USGS). <http://earthexplorer.usgs.gov/>.

или естественным объектом, который в силу освещения, небольших размеров и недостаточного разрешения снимка мы принимаем за искусственный. Поэтому при классификации значительную проблему представляют небольшие оплывшие сооружения, которые на момент съемки попали в зону современного освоения территории.

Проблему атрибуции такого типа «подозрительных» объектов можно решить с помощью карт Генштаба СССР (далее — ГШ) 1985 г. масштаба 1:100 000, которые доступны в сети Интернет². На этих картах нанесены монументальные археологические памятники, которые существовали на момент съемки местности. Если точно определить их географические координаты и сопоставить с координатами недостоверно идентифицированных объектов, полученных при обработке спутниковых снимков, то можно отличить археологические объекты от всех остальных. Очевидно, что успешное решение задачи классификации напрямую связано с точным определением координат. Чем точнее мы находим координаты и чем меньше погрешность, которая определяет предполагаемую зону поиска, тем выше вероятность правильной идентификации. К сожалению, большинство археологических планов, составленных в XX в., имеют погрешность локализации памятника на местности около 200–300 м [Болелов и др., 2019], поэтому они плохо подходят для задачи отождествления.

Карты ГШ составлены в устаревавшей координатной системе СК-42, которая уступает по точности системе WGS-84, реализованной в программе Google Earth (GE). Для решения прикладных задач необходимо уметь быстро переходить из одной координатной системы в другую, однако процедура точного пересчета представляет собой сложную задачу, которая помимо прочего требует знания точных параметров геоидов. С одной стороны, характеристики геоидов опубликованы в сети, а с другой, в силу секретности эти данные могут быть загружены и частично искажены.

Мы предлагаем для небольшой территории описать отличие геоидов с помощью двух аддитивных поправок, которым достаточно будет соответствовать систематический сдвиг координат по широте и долготе. Помимо этого, необходимо получить оценку погрешности локализации координат объекта по картам ГШ. Именно эта погрешность определит радиус зоны, в которой будет проводиться поиск памятника.

Изучение точности нахождения растровых координат

В процессе нахождения географических координат объектов с помощью карты наиболее вероятны несколько видов ошибок. Первым источником ошибок является погрешность определения их растровых координат, которые оцениваются с помощью графического редактора (например, GIMP) следующим образом. Карта загружается в редактор, переключается в максимальный масштаб, после чего курсор наводится на центр метки и в специальном окне высвечиваются ее координаты. С одной стороны, этот метод прост и понятен, а с другой — его недостатком является то, что центр метки определяется на глаз, т.е. неоднозначно. Однако можно достаточно просто сделать оценку величины этой ошибки.

Для получения исходных данных был выбран регион Древнего Хорезма, поскольку по нему имеется большое количество опубликованных работ, как по отдельным памятникам [Городище Топрак-кала..., 1981], так и по оазисам [Толстов, 1948; Неразик, 1966, 2013; Андрианов, 1969]. С другой стороны, исторический Хорезм представляет собой достаточно компактную территорию с большой плотностью памятников. Мы проанализировали полосу, заключенную в диапазоне координат $\varphi \in [40^{\circ}20'; 42^{\circ}40']$ по широте и $\lambda \in [56^{\circ}30'; 62^{\circ}30']$ по долготе, которая с хорошим запасом охватывает территорию Древнего Хорезма. В общей сложности на картах ГШ в зоне поиска было обнаружено 929 объектов, которые обозначены как археологические памятники. При этом можно выделить несколько типов меток, что тоже может оказаться важным. Разный стиль обозначения может привести к тому, что погрешность локализации памятника будет зависеть от используемой метки.

Рассмотрим следующую классификацию. Основная часть меток — класс M1 представляет собой небольшие квадратики со стороной 8–10 пикселей, периметр которых обозначен точками. По размеру это самые маленькие метки, и, как следствие, они должны наиболее точно передавать координаты центра памятника. Все остальные метки будем считать нестандартными. Образцы меток представлены на рис. 1.

² Например, <https://satmaps.info/genshtab.php>.

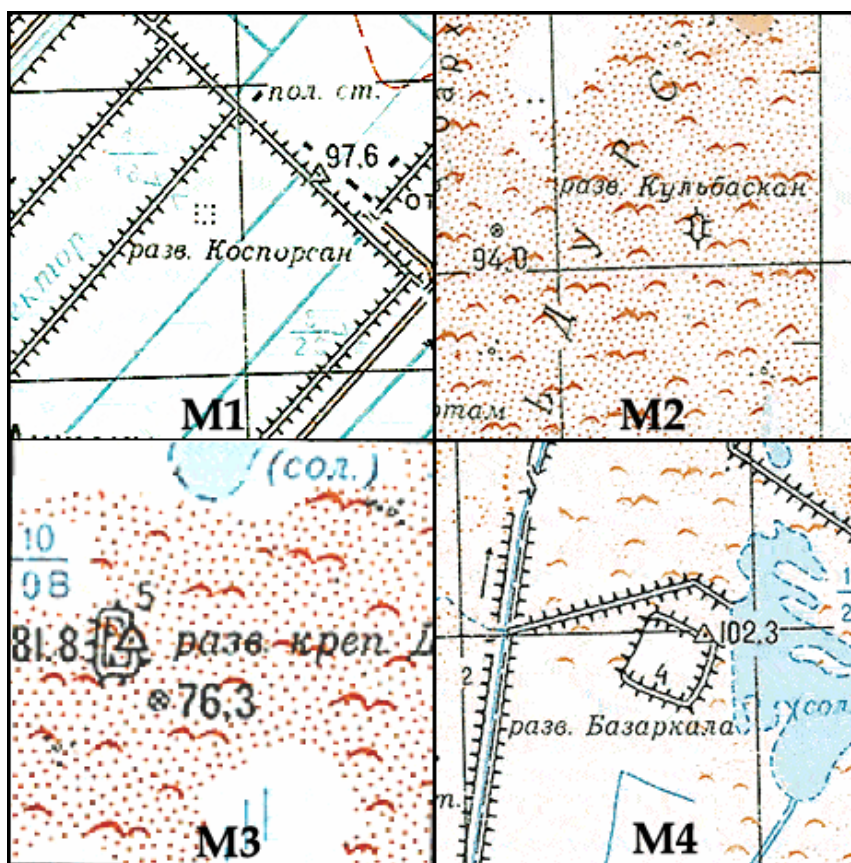


Рис. 1. Образцы меток памятников.
Fig. 1. Samples of marks of monuments.

Ко второму классу, M2 отнесем симметричные метки размером 15–30 пикселей, которые имеют форму круга, квадрата или прямоугольника. Интуитивно понятно, что размер меток должен соотноситься с размером памятника, однако чаще всего это не соблюдается. Например, крупные памятники Калалы-Гыр-2 (Жохсакар на карте ГШ), Джанпик-кала и Аяз-кала-1, Аяз-кала-3 указаны стандартными метками. Поэтому обозначение памятника меткой M1 не несет однозначной информации о его размерах, а маркировка меткой M2 выделяет некоторые памятники, размеры которых больше средних. Поскольку метка M2 имеет правильную форму, то мы полагаем, что ее центр на скане карты можно найти достаточно точно.

К третьему классу, M3 отнесем несимметричные метки, размер которых обычно составляет 15–30 пикселей. Такими метками обозначены памятники, имеющие неправильную форму. Типичным представителем этого класса является Малый Кыркыз.

К четвертому классу, M4 относятся очень крупные памятники, которые приведены на карте в натуральном размере. К этим памятникам относятся: Калалы-гыр-1, Хазарасп, Пиль-кала, Топрак-кала (на канале Гавхорэ), Базар-кала. Определить на глаз геометрический центр крупного памятника сложно, поэтому в данном случае логично измерить координаты какого-то его элемента, например одного из углов сооружения.

Пятому классу, M5 соответствуют на карте метки, силуэты которых видны частично или нечетко. Они или плохо пропечатаны, или плохо отсканированы, или перекрываются отметками барханов.

К последнему классу, M6 относятся памятники, которые не имеют меток, и об их существовании мы знаем только по наличию подписи «разв.» (развалины) или по названию самого памятника, например «Бор-кала». Наиболее вероятно, что отсутствие маркеров таких памятников является ошибкой, допущенной при составлении карты, или дефектом, возникшим при ее печати и сканировании. Определить точно координаты неотмеченных объектов нельзя, но можно сделать оценку их локализации.

Применение карт Генштаба СССР при определении географических координат...

Для каждого памятника сделаем в разное время две независимые оценки координат $(X_1; Y_1)$ и $(X_2; Y_2)$, после чего определим их невязки $\Delta X = X_1 - X_2$ и $\Delta Y = Y_1 - Y_2$. На рис. 2 показано распределение невязки ΔX .

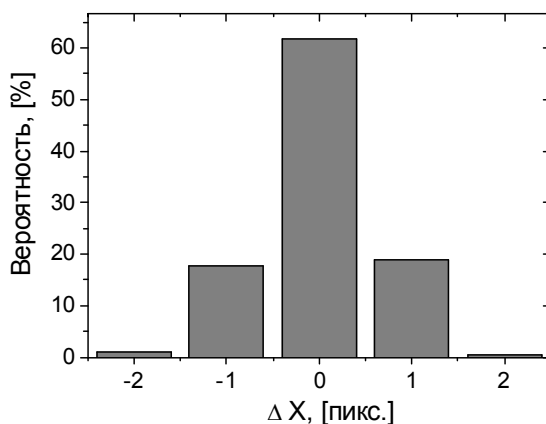


Рис. 2. Распределение невязок ΔX .
Fig. 2. Distribution of discrepancies ΔX .

Проверка показывает, что в 61,9 % случаях координаты совпадают, еще в 36,6 % невязка составляет 1 пиксель, и примерно в 1,5 % случаях она равна 2 пикселям. Отклонение на 3 и большее число пикселей встречается в единичных случаях, и его следует считать порогом ошибки. Действительно, при размере метки М1 в 8–10 пикселей невязка в 3 пикселя составляет не менее 1/3 ее размера, что легко заметно на глаз. Поэтому координаты, приводящие к таким значениям невязок, следует оценить заново.

Поскольку измерения по координате X и по координате Y равноправны, объединим невязки в одно множество $Z = \Delta X + \Delta Y$ и в дальнейших оценках будем использовать именно его. Для каждого типа меток вычислим несмещенную оценку дисперсии, полагая среднее значение невязки равным нулю. Результаты вычисления приведены в табл. 1, где под точностью понимается стандартное отклонение (СКО), выраженное в пикселях.

Основная часть объектов (866 из 929, или 93,2 %) относится к меткам М1 и имеет точность СКО 0,65 пикселя. Почти такую же среднюю точность имеют объекты с меткой М2, поэтому их можно включить в одну группу. Хуже всего определяются центры меток М3, относящиеся к несимметричным памятникам. Здесь СКО в два раза больше, чем для меток М1. Наконец, метки М4 и М6 имеют примерно одинаковую погрешность (особенно если учесть малое количество объектов в обоих классах, и особенно в классе М6), которая в полтора раза превышает погрешность локализации меток М1 и М2.

Таблица 1

Оценка точности локализации памятника по карте ГШ

Table 1

Assessment of the accuracy of the localization of the monument on the map of GS

№	Класс	Интерпретация	Количество	Точность (пикс.)
1	М1	Стандартная компактная метка	866	0.65
2	М2	Симметричная, нестандартная метка	19	0.68
3	М3	Несимметричная, небольшая метка	14	1.26
4	М4	Памятник приведен в натуральном масштабе	13	0.92
5	М5	Метка плохо видна	5	1.05
6	М6	Метка отсутствует	12	Nan

Будем считать, что ошибка определения координат не превышает 2 СКО, чему соответствует следующая точность: для памятников М1 и М2 — 1,3 пикселя, для памятников М4 и М6 — 2 пикселя и для памятников М3 — 2,5 пикселя.

На скане изображения карты 1 минута широты содержит 148 пикселей, следовательно, двум пикселям соответствует погрешность 0,8 секунды. Одна минута долготы содержит 108 пикселей,

поэтому здесь двум пикселям соответствует погрешность 1,1 секунды. Таким образом при отсутствии других погрешностей ошибка в определении растровых координат приводит к величине ошибки географических координат примерно в 1 секунду дуги по каждой них.

Оценка точности определения географических координат

Чтобы из растровых координат отобранных объектов получить пиксельные координаты, необходимо выбрать вид функции преобразования $f_i(X, Y)$ и с помощью опорных точек найти ее коэффициенты для широты $\varphi = f_1(X, Y)$ и долготы $\lambda = f_2(X, Y)$.

В качестве функции преобразования координат³ мы использовали квадратичную форму вида $f_i(X, Y) = A_iX + B_iY + C_iXY + D_iX^2 + E_iY^2 + F$, которая в отличие от линейной формы позволяет нивелировать небольшие искажения, возникшие при сканировании карты. Коэффициенты квадратичной формы вычисляются отдельно для каждой карты с помощью метода наименьших квадратов. Для привязки координат используется 11 опорных точек, 5 из которых распределены с равным шагом по долготе на верхней шкале карты, еще 5 на нижней шкале, и 1 точка находится в центре карты. Опорными точками являются те, для которых известны и растровые и географические координаты.

После определения коэффициентов преобразования географические координаты всех отобранных объектов можно найти через их растровые координаты простой подстановкой в формулу. Далее, введем найденные координаты в программу GE и выполним визуальный поиск памятника, а в случае успеха определим его координаты в GE.

В результате применения вышеописанной процедуры обнаружено 72 археологических памятника, идентификация которых не вызывает сомнения, что составляет примерно 8 % выборки. Наибольшее количество объектов — примерно 66 % за прошедшие 40 лет попала в зону освоения земель, и теперь на месте памятников находятся поля или современные постройки. Потеря еще 4 % памятников обусловлена затоплением территорий в связи с созданием водохранилищ и сооружением гидроузлов. Около 4 % памятников расположены в зоне с низким разрешением снимков GE, при котором установить наличие памятника на изображении невозможно. В остальных 18 % случаях по снимку видно, что территория не была подвержена антропогенным изменениям, однако или памятник нельзя идентифицировать уверенно, или его идентифицировать просто не с чем. Такая ситуация тоже возможна в случае плохой сохранности объекта. На рис. 2 дана схема, на которой показаны отобранные памятники.

Тем не менее выборка из 72 объектов является достаточной для получения надежных статистических оценок. Для каждого памятника вычислим разность координат в системе GE и по картам ГШ, в результате получим невязки по широте $\Delta\varphi$ и долготе $\Delta\lambda$, из которых составим пары и отобразим их в виде точек на плоскости (рис. 3).

Если бы между системами координат GE и ГШ не было никаких отличий, то мы получили бы средние значения невязок $\Delta\varphi_c = 0$ и $\Delta\lambda_c = 0$. Однако проверка показывает, что координаты долгот на картах ГШ в среднем завышены по сравнению с GE на 2", а широты занижены на 0,5". Тогда для перехода в координатную систему GE из системы ГШ необходимо сделать преобразование: $\varphi_{GE} = \varphi_{ГШ} + 0,51''$ и $\lambda_{GE} = \lambda_{ГШ} - 2,01''$.

Разобьем исходную выборку на два подмножества с долготами объектов $\lambda < 59,5^0$ и $\lambda > 60,5^0$ (рис. 4). Первое из них примерно соответствует Левобережному Хорезму, второе — Правобережному. В каждом из подмножеств найдем средние значения невязок, погрешности к ним и в результате получим следующие оценки:

$$\Delta\varphi_{Л}(\lambda < 59,5^0) = 0,78'' \pm 1,15'', \quad \Delta\lambda_{Л}(\lambda < 59,5^0) = -1,83'' \pm 1,82'';$$

$$\Delta\varphi_{П}(\lambda > 60,5^0) = 0,30'' \pm 1,35'', \quad \Delta\lambda_{П}(\lambda > 60,5^0) = -2,05'' \pm 1,70''.$$

Согласно расчетам средние значения невязок совпадают в пределах погрешности в обеих группах, как по широте, так и по долготе. Это означает, что найденная систематическая ошибка применима как минимум ко всему рассматриваемому региону.

³ Индекс $i = 1$ соответствует широте, $i = 2$ — долготе.

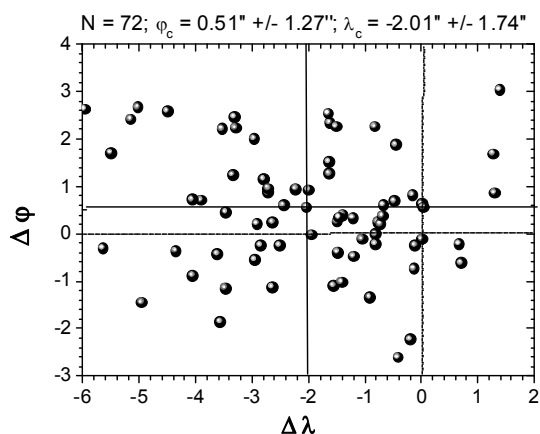


Рис. 3. Распределение невязок координат ($\Delta\lambda$; $\Delta\varphi$) отобранных памятников.

Fig. 3. The distribution of the discrepancies coordinates ($\Delta\lambda$; $\Delta\varphi$) of the selected monuments.

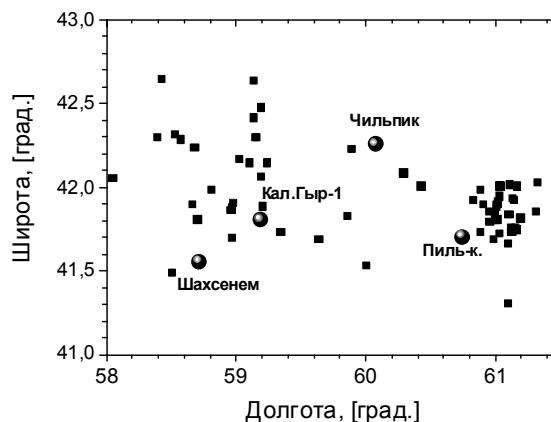


Рис. 4. Пространственное расположение обнаруженных памятников. Для удобства ориентировки приведены названия некоторых известных памятников.
Fig. 4. Spatial location of the discovered monuments. For the best orientation convenience, the names of some famous monuments are given.

Переведем невязки из секунд дуги в метры на поверхности Земли. Полагая радиус Земли равным $R = 6400$, км можно определить, что одной секунде широты соответствует расстояние 31 м, а одной секунде долготы, из-за сближения меридианов, на широте $\varphi = 42^\circ$ соответствует расстояние 23 м. Тогда в метрической системе величины систематических ошибок составят $\Delta\varphi = 0,51'' = 15\text{ м}$ по широте и $\Delta\lambda = -2,00'' = -46\text{ м}$ по долготе.

Величины погрешностей к найденным поправкам несут смысл случайной ошибки. Используемые нами карты имеют масштаб 1 см = 1 км, т.е. 1 мм карты соответствует 100 м на поверхности Земли. Полагая, что погрешность положения объекта на карте ГШ составляет половину цены деления линейки или курвиметра, т.е. 0,5 мм, получим, что памятник локализуется на местности с точностью не лучше 50 м по каждой из координат. Проверим насколько эта оценка соотносится с нашими расчетами.

Хотя мы получили разные значения погрешности по широте $\delta\varphi = 1,27''$ и долготе $\delta\lambda = 1,74''$, они соответствуют одной и той же величине метрической ошибки на поверхности Земли. Подставив полученные выше результаты, имеем: $\delta\lambda = 1,75'' = 1,75 \times 23 = 40\text{ м}$ и $\delta\varphi = 1,27'' = 1,27 \times 31 = 39\text{ м}$. Таким образом, ошибка по обеим координатам одинакова и составляет 40 м в пределах одного СКО, что согласуется с полученной выше оценкой.

Результаты применения карт ГШ для отождествления памятников

Рассмотрим результаты применения карт ГШ для поиска, отождествления и определения координат памятников на примере Якке-Парсанского канала на участке от Большого Гульдурсуна на юге до комплекса памятников Аяз 1–3 на севере. Археологическую схему канала мы взяли из работы [Неразик, 2013, рис. 14], которая является обобщением предыдущих исследований, а поэтому должна быть наиболее полной. Отметим, что, хотя планы и схемы территорий часто называются картами, на самом деле картами они не являются, поскольку карта подразумевает наличие хоть какой-то системы координат. В общей сложности на плане Е.Е. Неразик обозначено 20 памятников, которые можно отнести к Якке-Парсанскому каналу.

Алгоритм поиска памятника с помощью карт ГШ заключается в следующем.

Шаг А. Предварительно отождествляем по координатам памятник, нанесенный на план Е.Е. Неразик, с объектом на карте ГШ и приписываем данному памятнику координаты ГШ.

Шаг Б. Осуществляем переход из СК-42 в WGS-84 с помощью найденных выше аддитивных поправок.

Шаг В. Вводим в программу GE координаты памятника и производим визуальный поиск памятника, сравнивая его современный вид с тем, как он выглядел на спутниковых снимках начала 1970-х гг. и архитектурных планах.

В случае успеха памятник будет обнаружен и его координаты определяются с помощью программы GE. В противном случае памятнику будут приписаны координаты ГШ, переведенные в WGS-84, что обеспечит значительно лучшую точность, чем при привязке археологического плана к карте GE.

В результате применения изложенной выше методики были получены следующие результаты.

1. На плане Е.Е. Неразик присутствует ряд крупных, хорошо сохранившихся памятников, которые без особых проблем могут быть найдены с помощью программы GE и визуально отождествлены с известными объектами. К ним относятся Б. Гульдурсун, Айр-кала, Якке-Парсан, Аяз кала-1–3.

2. Существенно сложнее обстоят дела с отождествлением памятников Наринджан, М. Кават-кала, Кум-кала, поселения № 4, 5, замки № 1, 2. Эти объекты имеют значительно худшую сохранность и меньшие размеры. Хотя, как оказывается, они видны на снимках GE, но их нельзя выделить по каким-то характерным признакам среди современных построек, на имея дополнительной информации. При этом провести формальное отождествление по координатам достаточно трудно, поскольку схема Е.Е. Неразик имеет погрешность около 300 м в рамках одного СКО, но не в изначальном виде, а после приведения к правильному масштабу [Болелов и др., 2019, с. 101–103]. В результате выделить ничем не приметный памятник в области диаметром 600 м весьма проблематично, поскольку есть множество похожих современных объектов. И особенно это актуально, когда изначально нет уверенности в том, что объект вообще сохранился. С другой стороны, карта ГШ после перевода из системы координат СК-42 в WGS-84 имеет среднюю ошибку ~100 м, что позволяет значительно уменьшить зону поиска.

3. Единственным памятником, координаты которого удалось определить с помощью карты Е.Е. Неразик, является усадьба А, расположенная в 1,9 км к югу от крепости Аяз кала-3. Этот объект виден в программе GE и уверенно отождествляется с археологическим планом памятника по форме и размерам. В данном случае причиной успешного отождествления является случайности — погрешности взаимно компенсировались. Неудача во всех остальных случаях показывает, что из плана Якке-Парсанского оазиса нельзя получить надежные координаты.

4. По составу памятников карты ГШ и план Е.Е. Неразик представляют собой два частично пересекающихся множества. Есть ряд объектов, которые совершенно точно являются археологическими памятниками, синхронными оазису [Болелов и др., 2020], но они почему-то отсутствуют на карте Якке-Парсанского канала. С другой стороны, на картах ГШ приведены далеко не все объекты с карты Е.Е. Неразик. Отсутствие усадеб А, В, С, Безымянного замка, Хайдар-тепе и Ак-тепе можно объяснить плохой сохранностью памятников, а также тем, что карты ГШ составлены на 10–15 лет позже по сравнению с археологическими. С другой стороны, карты ГШ не всегда точны. Так, например, Б. Гульдурсун приведен в натуральную величину и не имеет метки «разв.», т.е. если не знать о его существовании, данный памятник можно принять за современный объект. Также хорошо сохранившийся памятник Кызыл-кала (кан. Гавхорэ) не обозначен на карте ГШ вообще. То есть карты ГШ являются хорошим подспорьем, но от них нельзя требовать полноты.

Более сложная задача возникает в том случае, когда памятник, отмеченный на плане, не сохранился до нашего времени, и поэтому его координаты нельзя определить с помощью программы GE. Самое простое решение заключается в том, что всегда можно привязать археологический план к карте GE по координатам известных памятников. Однако привязка координат будет иметь такую же ошибку, как и план, т.е. около 300 м.

В этом случае можно воспользоваться спутниковыми снимками начала 1970-х гг., когда территория Якке-Парсанского оазиса оставалась неосвоенной и монументальные сооружения были видны из космоса. Поэтому есть шанс отождествить отмеченный на плане памятник с его изображением на спутниковом снимке и получить значительно лучший результат. Погрешность привязки памятника по снимку составляет 30–50 м в пределах одного СКО, что в разы точнее погрешности археологического плана.

Для решения этой задачи существенно важным является изучение погрешности локализации памятника и на карте, и на спутниковом снимке. Оценка погрешностей позволяет принять правильное решение в дихотомии, когда на плане и снимке находится один и тот же памятник или это два разных объекта, которые расположены близко друг к другу. Такая ситуация вполне возможна, поскольку из космоса видны только хорошо сохранившиеся объекты, а на археологических планах много пропусков. В случае более плотного расположения памятников, как, например, в Беркут-Калинском оазисе, вероятно ситуация, когда одному объекту на космоснимке

Применение карт Генштаба СССР при определении географических координат...

может соответствовать два объекта на плане. И снова решение об отождествлении должно быть принято с учетом координат и погрешностей локализации памятника.

На рис. 5 приведена реконструированная схема Якке-Парсанского оазиса и прилегающих территорий. В качестве основы был взят план Е.Е. Неразика, и все 19 именных, обозначенных кружками, объектов являются памятниками из ее плана. Крестикам соответствуют памятники с карты ГШ, ромбиками обозначены памятники, видимые на спутниковых снимках. Закрашенным кружкам соответствуют объекты, которые видимы из космоса и/или есть на карте ГШ, поэтому, чтобы не загромождать рисунок, рядом с ними не указаны другие отметки в виде ромбиков и крестиков. Наконец, полым кружкам соответствуют памятники, которые не видимы на спутниковых снимках и которых нет на карте ГШ.

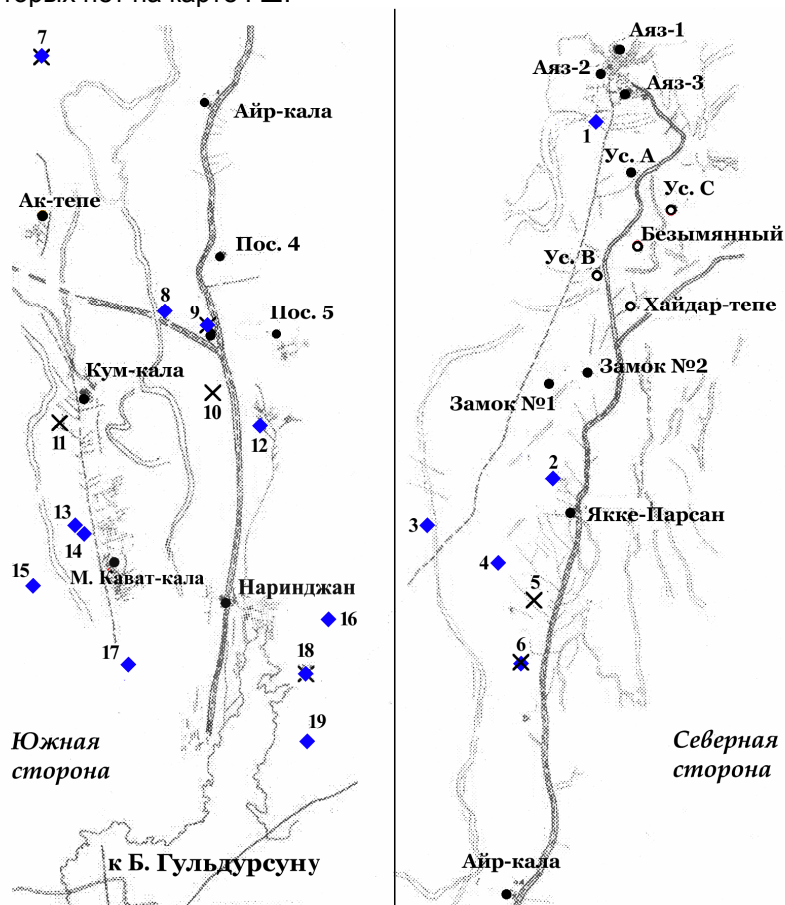


Рис. 5. Реконструированный план Якке-Парсанского оазиса и прилегающих территорий.

Пояснения см. в тексте статьи.

Fig. 5. Reconstructed plan of the Yakke-Parsan oasis and adjacent territories.

The circles indicate objects from the scheme of E.E. Nerazik. Monuments from the GS map correspond to crosses; rhombuses denote monuments visible on satellite images. Monuments that are not visible on satellite images and which are absent on the GS map correspond to hollow circles.

В результате применения карт ГШ и спутниковых снимков количество известных памятников оазиса возросло в два раза. Кроме того, использование дополнительных данных позволило получить достаточно точную оценку координат, зависящую от способа, которым она была реализована. Наименьшую ошибку (класс А) имеют памятники, координаты которых были найдены в программе GE. В данном случае погрешность определяется тем, как мы визуально определяем центр памятника, поэтому едва ли превышает 10 м. Следующими по точности (класс Б) идут памятники, координаты которых были найдены с помощью анализа спутниковых снимков, с ошибкой привязки не выше 50 м. Классу В соответствует погрешность около 100 м при обработке карт ГШ. И наконец, самую высокую погрешность, около 300 м, имеют координаты объектов класса Г, когда в качестве привязки приходится использовать археологический план.

Отметим, что план на рис. 5 не является картой, а имеет схематичный характер. Точные координаты памятников указаны в табл. 2. Эта сводка насчитывает 38 объектов и является на данный момент наиболее полной по Якке-Парсанскому оазису и его окрестностям.

Таблица 2

Координаты памятников Якке-Парсанского оазиса и прилегающих окрестностей

Table 2

Coordinates of the monuments of the Yakke-Parsan oasis and adjacent environs

№	Название	Широта	Долгота	Класс точности	Наличие*			
					на GE	на СС	на ГШ	на АП
1	Аяз-кала-1	42°00'50.7	61°01'44.6	А	+	+	+	+
2	Аяз-кала-2	42°00'39.4	61°01'37.6	А	+	+	+	+
3	Аяз-кала-3	42°00'19.1	61°01'50.2	А	+	+	+	+
4	Объект № 1	41°59'40.1	61°01'15.1	Б		+		
5	Усадьба-А	41°59'18.3	61°01'47.4	А	+			+
6	Усадьба-С	41°58'57.8	61°02'30.3	Г				+
7	Безымянный замок	41°58'27.0	61°01'44.8	Г				+
8	Усадьба-В	41°58'05.8	61°01'20.3	Г				+
9	Хайдар-тепе	41°57'47.4	61°01'32.5	Г				+
10	Замок-2	41°56'59.0	61°01'22.3	А	+	+		+
11	Замок-1	41°56'50.9	61°00'39.3	А	+	+		+
12	Объект № 2	41°55'43.1	61°00'46.6	Б		+		
13	Якке-Парсан	41°55'15.9	61°01'05.8	А	+	+	+	+
14	Объект № 3	41°55'04.4	60°58'42.6	А	+	+		
15	Объект № 4	41°54'36.6	60°59'54.1	Б		+		
16	Объект № 5	41°54'08.5	61°00'31.8	А	+		+	
17	Объект № 6	41°53'23.3	61°00'19.9	А	+		+	
18	Объект № 7	41°51'53.8	60°56'47.5	А	+		+	
19	Айр-кала	41°51'16.0	60°59'31.5	А	+	+	+	+
20	Ак-тепе	41°50'01.3	60°56'17.1	Б		+		+
21	Поселение 4	41°49'30.4	60°59'27.7	А	+	+	+	+
22	Объект № 8	41°48'39.6	60°58'37.7	Б		+		
23	Кульбаскан-2	41°48'26.7	60°59'20.4	А	+	+	+	+
24	Поселение 5	41°48'26.1	61°00'41.9	А	+	+	+	+
25	Объект № 9	41°48'22.1	60°59'19.6	А	+			
26	Кум-кала	41°47'45.1	60°57'09.6	А	+	+		+
27	Объект № 10	41°47'34.9	60°59'15.9	В			+	
28	Объект № 11	41°47'29.7	60°56'40.0	В			+	
29	Объект № 12	41°47'03.6	60°59'59.2	Б		+		
30	Объект № 13	41°46'18.6	60°56'41.8	Б		+		
31	Объект № 14	41°46'14.3	60°56'46.1	Б		+		
32	Кават-кала Мал.	41°45'43.0	60°57'24.2	Б	+	+	+	+
33	Объект № 15	41°45'43.9	60°55'52.9	Б		+		
34	Наринджан	41°45'01.3	60°59'05.5	Б		+	+	+
35	Объект № 16	41°44'34.7	61°00'20.6	Б		+		
36	Объект № 17	41°44'29.0	60°57'06.7	А	+	+		
37	Объект № 18	41°44'08.1	60°59'58.2	Б		+	+	
38	Объект № 19	41°43'17.76	60°59'39.0	Б		+		

* Наличие на GE/СС/ГШ/АП означает присутствие памятника на современной карте Google Earth, спутниковом снимке начала 1970-х гг., карте Генштаба и археологическом плане соответственно.

Заключение

Основной проблемой поиска и идентификации археологических объектов по спутниковым снимкам является соотношение их реального физического размера и разрешающей способности изображения. Для тех снимков, которые вошли в пул нашей обработки, оно в среднем составляет 2,5 м на 1 пиксель, а это значит, что типичная для средневекового Хорезма усадьба со стороны двора 30 м на изображении занимает около 10–15 пикселей, а донжон — от 4 до 6 пикселей. Практика показывает, что стены усадеб чаще всего не видны, и такие объекты можно определить только с помощью донжона. При этом на изображении в большинстве случаев виден не сам донжон, а отбрасываемая им тень, которая представляет собой размытое пятно размером в несколько пикселей. Усложняет идентификацию памятников тот факт, что на сним-

Применение карт Генштаба СССР при определении географических координат...

ке всегда можно найти пятна, которые «на что-то похожи», поэтому особенно важной становится наземная привязка изображения на спутниковом снимке.

Использование для достижения наших целей карт Генштаба СССР позволило в немалой степени решить задачу идентификации памятников. Если на карте обозначены развалины и мы видим из космоса на этих координатах какой-то объект, значит, этот объект и есть памятник. Причем каждое успешное отождествление уточняет понимание того, как памятник небольших размеров может выглядеть из космоса. В ряде случаев внешний вид объекта настолько характерен, что мы можем с высокой долей уверенности заключить, что этот объект и есть искомым памятником без наземной привязки.

Применение предложенной авторами методики к территории Якке-Парсанского канала показало ее эффективность и позволило без специальных наземных полевых работ выявить 19 новых памятников археологии.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-09-00040А «Составление геоинформационной системы археологических памятников древнего и средневекового Хорезма по данным спутниковых снимков».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Андрианов Б.В.* Древние оросительные системы Приаралья. М.: Наука. 1969. 253 с.
- Болев С.Б., Колганова Г.Ю., Никифоров М.Г., Семикопенко Г.П.* Определение географических координат археологических объектов с помощью старых карт // Известия АлтГУ. Исторические науки и археология. 2019. Т. 109. № 5. С. 99–106.
- Болев С.Б., Колганова Г.Ю., Никифоров М.Г., Семикопенко Г.П.* Новые данные об археологических памятниках на территории Древнего Хорезма по результатам обработки спутниковых снимков // КСИА. 2020. Вып. 258. С. 340–349.
- Городище Топрак-кала: (Раскопки 1965–1975 гг.)* // Труды Хорезмской археолого-этнографической экспедиции. XII. М.: Наука, 1981. 152 с.
- Дмитриева Ю.А., Сучилин А.А., Иневаткина О.Н.* Разработка структуры археологической ГИС «Культурное наследие Заравшанской долины» // КСИА. 2012. Вып. 226. С. 122–133.
- 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.
- Неразик Е.Е.* Сельские поселения афригидского Хорезма. М.: Наука. 1966. 155 с.
- Неразик Е.Е.* Формирование раннесредневекового общества в низовьях Амударьи. М.: Гриф и К, 2013. 374 с.
- Толстов С.П.* Древний Хорезм: Опыт историко-археологического исследования. М.: МГУ, 1948. 352 с.

Bolelov S.B.^a, Kovrizhkina M.M.^b, Kolganova G.Yu.^c, Nickiforov M.G.^d, Semikopenko G.P.^d

^a The State Museum of Oriental Art, Nikitskiy boul., 12a, Moscow, 119019, Russian Federation

^b Moscow University For The Humanities, Yunosti st., 5, Moscow, 111395, Russian Federation

^c Institute of Oriental Studies RAS, Rozhdestvenka, 12, Moscow, 107031, Russian Federation

^d Moscow State Linguistic University, Ostozhenka, 38, b. 1, Moscow, 119034, Russian Federation

E-mail: bsb1958@yandex.ru (Bolelov S.B.); kolibri-hr@yandex.ru (Kovrizhkina M.M.);

kolganova_gy@mail.ru (Kolganova G.Yu.); followup@mail.ru (Nickiforov M.G.);

semikopenkogp@hotmail.com (Semikopenko G.P.)

Using the USSR General Staff maps to determine the geographical coordinates in archeology

The main problem of archaeological plans drawn in the mid-20th century is that almost all of them have poor accuracy of spatial localisation of objects. Simple estimates show that the error relatively to the actual position of the site can reach several hundred meters on the Earth surface. Because of this, only large, well-preserved objects can be identified using archaeological plans. If the monument is small and poorly preserved, then it is impossible to distinguish it among modern buildings. This is especially critical if the search radius, which depends on the error in the archaeological plan, reaches 300–500 meters [Bolelov et al. 2019]. This situation complicates creation of modern accurate maps and geographical information systems. To specify the position of the monuments, we propose using maps of the General Staff of the USSR (GS), which contain the location details of a large number of archaeological sites. According to our estimate, the GS maps have an error of ca. 50 meters,

which significantly reduces the search area. The idea is that, first, the site on the archaeological plan must be identified with the object on the map of the GS, and then the GS coordinates (SK-42) need to be recalculated to the WGS-84 ones of Google Earth. A simple method of conversion from the SK-42 coordinate system to WGS-84 and vice versa in the form of additive corrections to geographical coordinates is proposed. Estimates of random errors have been obtained, which are caused by the error in compiling and analysing the maps. Although numerical estimates have been obtained for the territory of historical Khorezm, it is most likely that the same transformations are applicable to other territories. The described technique has been successfully applied to the archaeological sites of the Yakke-Parsan Channel, which, according to the map of E.E. Nerazik [2013, fig. 14], comprises 20 monuments. Of them, only six largest structures had an accurate identification. As a result of the research, we found and identified seven objects more. The comparison of coordinates made possible the preliminary identifications, and final identifications were made after comparing the appearance of the objects with architectural plans. Other sites have not been found because they have not been preserved to our time. Nevertheless, the GS maps allow obtaining accurate coordinates of the lost monuments.

Key words: archaeological sites, determination of geographical coordinates, mathematical processing of maps, Khorezm.

Funding. This work was supported by the RFBR grant № 19-09-00040A “Creation of geoinformation system of archaeological monuments of ancient and medieval Khorezm according to satellite images”.

REFERENCES

- Andrianov B.V. (1969). *Ancient irrigation systems of the Aral Sea region*. Moscow: Nauka. (Rus.).
- Bolelov S.B., Kolganova G.Yu., Nickiforov M.G., Semikopenko G.P. (2019). Determination of geographical coordinates of archaeological objects using old maps. *Izvestiya AltGU. Istoricheskiye nauki i arkhologiiya*, 109(5), 99–106. (Rus.).
- Bolelov S.B., Kolganova G.Yu., Nickiforov M.G., Semikopenko G.P. (2020). New data on archaeological monuments on the territory of Ancient Khorezm based on the results of processing satellite images. *Kratkiye soobshcheniya Instituta arkheologii*, (258), 340–349. (Rus.).
- Dmitriyeva Yu.A., Suchilin A.A., Inevatkina O.N. (2012). Development of the structure of the archaeological GIS “Cultural Heritage of the Zaravshan Valley”. *Kratkiye soobshcheniya Instituta arkheologii*, (226), 122–133. (Rus.).
- Makarov N.A., Zelentsova O.V., Korobov D.S., Voroshilov A.N., Chernikov A.P. (2015). Geoinformation system “Archaeological Sites of Russia”: Methodological approaches to development and the first results of filling. *Kratkiye soobshcheniya Instituta arkheologii*, (237), 7–19. (Rus.).
- Nerazik E.E. (1966). *Rural settlements of Afrigid Khorezm*. Moscow: Nauka. (Rus.).
- Nerazik E.E. (2013). *Formation of an early Medieval society in the lower reaches of the Amudarya*. Moscow: Grif i K. (Rus.).
- Nerazik E.E., Rapoport Iu.A. (Eds.) (1981). The settlement of Toprak-kala: (Excavations 1965–1975). *Trudy Khorezmskoy arkheologo-etnograficheskoy ekspeditsii*, XII. Moscow: Nauka. (Rus.).
- Tolstov S.P. (1948). *Ancient Khorezm: Experience of historical and archaeological research*. Moscow: MGU. (Rus.).

Болелов С.Б., <https://orcid.org/0000-0003-1423-293X>
Коврижкина М.М., <https://orcid.org/0000-0002-5160-3755>
Колганова Г.Ю., <https://orcid.org/0000-0002-6886-728X>
Никифоров М.Г., <https://orcid.org/0000-0003-3106-5854>
Семикопенко Г.П., <https://orcid.org/0000-0003-1145-9469>



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Accepted: 07.12.2020

Article is published: 26.02.2021