



Научная статья
УДК 551.248.2

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БАССЕЙН РЕКИ АЛ КАБИР АЛ ШАМАЛИ В СИРИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИЗОБРАЖЕНИЯ ASTER (ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ РЕЛЬЕФА) НА ОСНОВЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИИ

Х. Алали^{1,*}, А.В. Перминов¹, С.Н. Редников¹, Е.С. Алсадек¹

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия.

* E-mail: hothefa.alali@gmail.com

Аннотация. В данном исследовании анализируются морфометрические параметры бассейна реки Ал Кабир Ал Шамали в Сирии с использованием данных ASTER ЦМР и ГИС-Технологии. Количественная оценка формы бассейна, топографии и характера дренажа позволяет оценить масштабы эрозии, риск наводнений и помогает в управлении водными ресурсами. Морфометрический анализ позволил рассчитать такие метрики формы бассейна, как коэффициент округлости (0,32) и коэффициент формы (1,54), классифицирующие вытянутую форму бассейна. Анализ рельефа определил гипсометрический интеграл (0,42), уклон (в среднем 24°) и аспект, что указывает на зрелую стадию эрозии. Анализ дренажной системы, включающий количественную оценку порядка ручьев, коэффициенты бифуркации (0,8-1,8), коэффициент густоты речной сети (0,74 км/км²), характеризует характер дренажа. Полученные результаты отражают особенности рельефа, характер стока и гидрологическое поведение, демонстрируя эффективность использования свободно доступные ЦМР ASTER для морфометрической оценки. Полученные результаты помогут в планировании противодействия наводнениям, отложений и количественной оценке влияния таких факторов, как изменение характера землепользования.

Ключевые слова: морфометрический анализ; рельеф; водосборный бассейн; ЦМР; ГИС-технологии; бассейн Ал Кабир Ал Шамали.

Для цитирования: Алали Х., Перминов А.В., Редников С.Н., Алсадек Е.С. Морфометрический анализ бассейн реки Ал Кабир Ал Шамали в Сирии с использованием изображения ASTER (цифровая модель рельефа) на основе ГИС-технологии // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2024. Т.10. №1. С. 46–58.

Original article

MORPHOMETRIC ANALYSIS OF AL KABIR AL SHAMALI RIVER BASIN IN SYRIA USING ASTER (DIGITAL ELEVATION MODEL) IMAGE BASED ON GIS-TECHNOLOGY

H. Alali^{1,*}, A.V. Perminov¹, S.N. Rednikov¹, E.S. Alsadek¹

¹ Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia.

* E-mail: hothefa.alali@gmail.com

Abstract. This study analyzes the morphometric parameters of the Al Kabir Al Shamali River basin in Syria using ASTER DEM and GIS-Technology data. Quantification of basin shape,

topography and drainage patterns allows estimating the extent of erosion, flood risk and helps in water resources management. Morphometric analysis allowed the calculation of basin shape metrics such as roundness coefficient (0.32) and shape coefficient (1.54) that classify the elongated shape of the basin. Terrain analysis determined the hypsometric integral (0.42), slope (average 24°), and aspect, indicating a mature stage of erosion. Drainage analysis including quantification of stream order, bifurcation coefficients (0.8-1.8), and drainage density (0.74 km/km²) characterized the drainage pattern. The results obtained reflect landform features, runoff patterns and hydrological behavior, demonstrating the effectiveness of using freely available ASTER DEMs for morphometric assessment. The results will help in flood resilience planning, sedimentation and quantifying the impact of factors such as land use change.

Key words: *morphometric analysis; relief; watershed; DEM; GIS-technologies; Al Kabir Al Shamali basin*

For citation: Alali H., Perminov A.V., Rednikov S.N., Alsadek E.S. Morphometric analysis of Al Kabir Al Shamali river basin in Syria using ASTER (digital elevation model) image based on GIS-technology. *Journal of Science and Education of North-West Russia*. 2024. V.10. No. 1. pp. 46–58.

Введение

Применение географических информационных систем (ГИС) в морфометрическом анализе стало мощным инструментом для понимания и описания ландшафтов. Многие исследования подчеркивают различные преимущества и разработки в этой области, которые включают разнообразные применения и решение проблем. Ниже приводится их краткий анализ.

Эффективность и автоматизация: ГИС автоматизирует сложные вычисления и измерения, значительно сокращая время и усилия по сравнению с ручными методами. Это позволяет проводить крупномасштабный анализ и облегчает быструю оценку разнообразных ландшафтов [1].

Подробные и объективные данные: ГИС объединяет различные источники данных, включая цифровые модели рельефа (ЦМР) и изображения дистанционного зондирования, обеспечивая подробные и объективные измерения морфологии. Точность данных имеет решающее значение для надежного анализа и сравнения [2, 3].

Географические информационные системы в морфометрическом анализе имеют очень широкое применение, например, для морфометрической характеристики бассейнов из-за их важности в управлении водосборами, оценки восприимчивости к наводнениям, потенциальной эрозии почвы, помощи в понимании развития ландшафта, моделей дренажа, устойчивости склонов, планирования земель и т. д [4-6].

Есть также некоторые исследования, которые указывают на проблемы, с которыми сталкиваются географические информационные системы при анализе морфометрических данных. Среди этих проблем - качество и доступность данных, поскольку точность данных сильно влияет на результаты анализа, а также различные методологии и инструменты, может привести к несоответствию результатов в разных исследованиях [7-8].

Под морфометрическим анализом понимается такой вид анализа, который касается явлений земной поверхности, опираясь в основном на цифры и данные, взятые с контурной карты, аэро- и спутниковых снимков, в дополнение к полевым исследованиям в районах, где наблюдаются соответствующие явления.

Цифровая модель рельефа является одним из основных компонентов геоинформационных систем и служит основой для получения свойств, связанных с топографией долин, и экстраполяции информации об их топографии и процессах гидрологического моделирования стока дождевых вод. Это достигается путем использования

набора аналитических методов, применяемых к цифровой информации, для расчета значений высот, уклонов и особенностей поверхности, таких как границы водоемов и речной сети [9].

Использование методов морфометрического анализа направлено на расширение нашей информации о реальной системе водоотводной сети и облегчение процесса ее качественной классификации, а также на помощь в познании взаимосвязи между водосборными бассейнами и их водотоками (дренажная система) и знание возможность сравнения между различными водосборными бассейнами, возможно, прийти к полезным обобщениям [9].

Объект исследования

Бассейн реки Ал Кабир Ал Шамали находится на северо-западе Сирии в области Латтакий (см. рисунок 1), с общей площади 1090 км^2 , длина реки составляет 96 км. Река Ал Кабир Ал Шамали считается самой многоводной рекой в прибрежном районе. Река берет начало с горных высот на границе с Турцией и течет на юго-запад. Она питается рядом небольших рек и родников. Она впадает в Средиземное море к югу от города Латакия.

Река имеет постоянный сток, и его расход в значительной степени зависит от количества осадков, так как ее расход в сезон дождей составляет около $40 \text{ м}^3/\text{с}$, а в засушливые периоды уменьшается до $1 \text{ м}^3/\text{с}$ [10, 11]. Средние нормы осадков по всему бассейну составляют 950 мм/год , а средние нормы осадков от верхнего участка бассейна до плотины достигают 1113 мм/год [12, 14].

На русле реки построена агрегатная плотина среднего размера (16 Тишрин) и водохранилище емкостью 210 млн. м^3 , которое снабжает водой соседние земли.

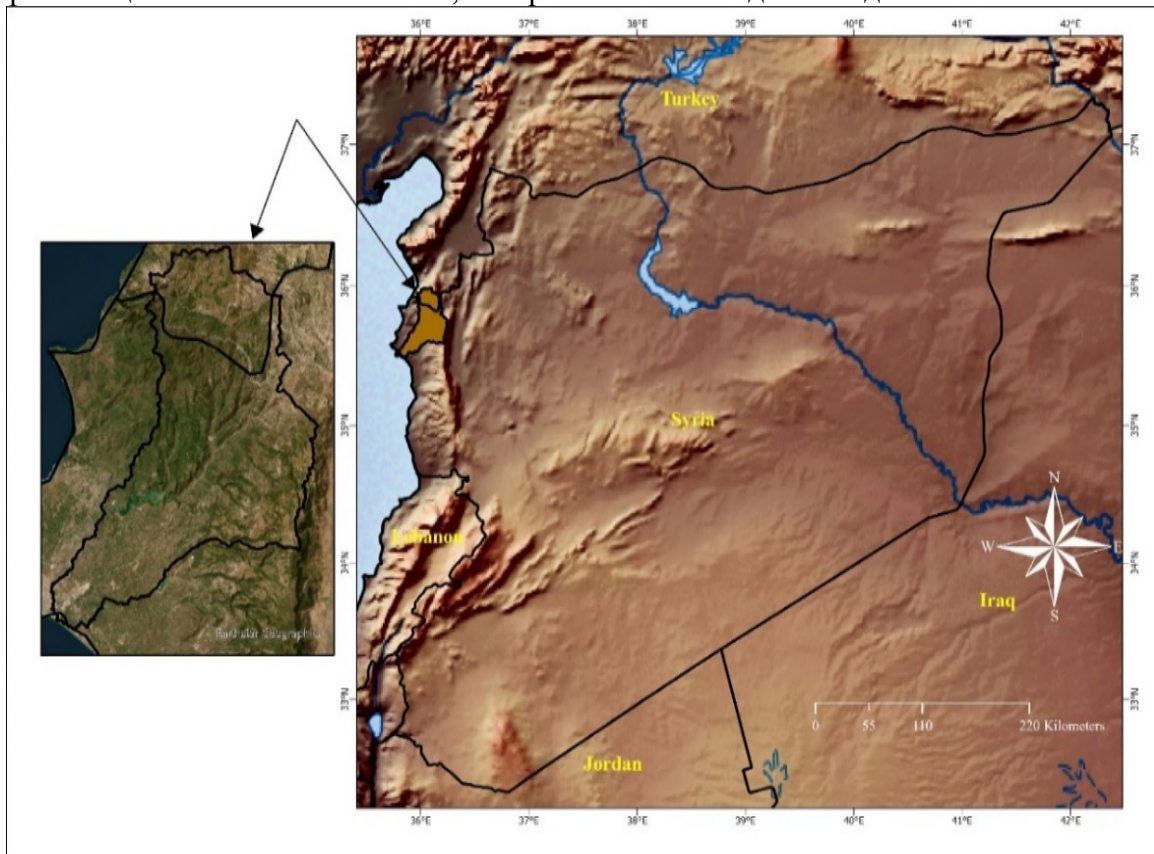


Рисунок 1 – Карта спутниковый снимок бассейна реки Ал Кабир Ал Шамали (Построена авторами по программе ArcGis Pro, по данным сайта <https://www.naturalearthdata.com/>)

Направленность большинства гидрологических исследований водосборного бассейна реки Ал Кабир Ал Шамали связана с изучением гидрологической системы и качества воды, среди этих исследований мы выделяем следующие:

Haifa S. (2022): Это исследование посвящено анализу концентрации загрязняющих веществ в бассейне реки Ал Кабир Ал Шамали [12, 13].

Хайтам Джанад (2013): Исследует аналогичные аспекты, связанные с качеством воды и загрязнением в бассейне той же реки.

Маан Бобо (2019): В этом исследовании специально изучается объем воды в водохранилище 16 Тишрин, которое является частью речной системы Ал Кабир Ал Шамали [14].

Материалы и методы исследований

Водосборный бассейн реки является морфологической системой, подчиняющейся определенным законам. Его технические свойства имеют взаимные функциональные связи и регулируются в соответствии с этими законами. Характер этих взаимосвязей можно определить только после изучения различных элементов бассейна, которые можно измерить по цифровой модели рельефа (ЦМР). Для выделения водосборных бассейнов, оценки площадных, линейных рельефных аспектов морфометрических параметров, и также гидрологических характеристик применялась географическая информационная система (ГИС), программы (ArcGis pro, Global Mapper, WMS), а также использовали основные формулы для расчета морфометрических свойств, как показано в табл. 1 [22-27].

Морфометрический анализ бассейна реки Ал Кабир Ал Шамали был проведен с использованием данных цифровой модели рельефа (ЦМР) ASTER и программного обеспечения ArcGIS. Основные количественные параметры включают:

Метрика формы бассейна:

- Коэффициент округлости
- Коэффициент удлинения
- Коэффициент формы

Топографический анализ:

- Характеристики рельефа
- Уклон

- Гипсометрический анализ

Гидрографическая система:

- Порядок потока
- Коэффициент бифуркации
- Коэффициент густоты речной сети

Таблица 1 – Формулы для расчета морфометрических параметров

Категория	Параметр	№ пп.	Формула	Источник
Метрика формы бассейна	Коэффициент округлости	1	$CR = \frac{A}{A_0}$	[15]
	Коэффициент формы	2	$S = \frac{A}{L^2}$	[15]
	Параметр формы бассейна	3	$BSF = \frac{L^2}{A}$	[15]
Топографический анализ	Коэффициент рельефа	4	$RR = \frac{\Delta H}{L}$	[15]
	Число шероховатости	5	$ЧШ = \frac{D \times \Delta H}{P}$	[15]
	Гипсометрический интеграл	6	$HI = \frac{(\text{Средняя высота} - \text{минимальная высота})}{(\text{Максимальная высота} - \text{минимальная высота})}$	[16,17,18]
	Гипсометрическая кривая	7	$\text{Гипсометрическая кривая} = \frac{\text{Относительная высота} (h/H)}{\text{Относительная площадь} (a/A)}$	[16,17,18]

Параметры водосборных бассейнов	Средняя длина притока (реки)	8	$LS' = \frac{\sum L_s}{N_s}$	[16]
	Коэффициент бифуркации	9	$Rb = \frac{N_u}{N_{u+1}}$	[17]
	Коэффициент густоты речной сети	10	$D = \frac{\sum L_s}{A}$	[20]
	Частота рек (число рек на единицу площади)	11	$F = \frac{\sum N_u}{A}$	[19]
	Константа выживания потока	12	Константа выживания потока = $\frac{1}{D}$	[10]
	Текстура водосбора	13	Текстура водосбора = $\frac{\sum N_u}{P}$	[21]

Примечание: За исключением нескольких параметров, многие рассчитаны с помощью инструмента ArcGis pro, WMS.

Обозначения в табл. 1:

A – площадь бассейна, км²;

A₀ – площадь круга, длина окружности которого равна окружность бассейна, км²;

L – длина бассейна, км;

ΔH – разность между самой высокой точка в бассейне и устья;

P – периметр бассейна, км;

∑L_s - общая длина водотоков;

N_s – количество притоков;

N_u – количество притоков данного порядка;

N_{u+1} – количество притоков следующего более высокого порядка;

∑N_u – сумма всех порядков водотоков.

Результаты и обсуждение

Морфометрический и гидрологический анализ водного бассейна даёт много важных результатов, представление об объеме воды, имеющейся в бассейне, для проектирования ирригационной и дренажной системы, необходимой для удовлетворения потребностей пользователей, определения воздействия климатических изменений на водный бассейн и разработки стратегий адаптации к этим изменениям. Результат анализа нашего объекта и их значение предоставлено в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты пространственной характеристики бассейна для объекта исследования по данным ЦМР

Пространственные характеристики	Величина	Способ решение	Значение параметры
Площадь бассейна A, км ²	1090	С помощью программы ARCGIS PRO из файла ЦМР (ASTER V3) для объекта исследования	Значение площади бассейна как морфометрической переменной проявляется во влиянии на объем стока воды в пределах речного бассейна, где существует прямая зависимость между площадью каждого бассейна и объемом стока воды в речную дренажную сеть.
Периметр P, км	204,60	С помощью программы ARCGIS PRO из файла ЦМР (ASTER V3) для	Это связано со многими другими морфометрическими характеристиками, такими как



		объекта исследования	форма бассейна, удлинение и округлость.
Длина бассейна L, км	60,54	Расстояние между самой дальней точкой бассейна и устьем. С помощью программы WMS.	Помогает найти другие характеристики бассейна.
Длина основного потока (Река), км	86,824	С помощью программы ARCGIS PRO из файла ЦМР (ASTER V3) для объекта исследования	Помогает найти другие характеристики бассейна.
Максимальная высота, м	1700	По контурной карте, извлеченной из ЦМР	Помогает получить гипсометрическую кривую бассейна
Минимальная высота, м	0	По контурной карте, извлеченной из ЦМР	Помогает получить гипсометрическую кривую бассейна
Общая длина речных русел, км	811,014	С помощью программы ARCGIS PRO из файла ЦМР (ASTER V3) для объекта исследования	Помогает решить другие характеристики дренажной системы бассейна.
Ширина бассейна, км	18,005	Ширина бассейна = A/L	При определении формы бассейна по соотношению длины к ширине бассейна.
Коэффициент округлости (Циркулярность) (CR)	0,327	По формуле № 1 из табл. 1	Величина, ближе к нулю, показывает, что форма бассейна ближе к прямоугольнику
Параметр формы бассейна (BSF)	3,36	По формуле № 3 из табл. 1	-
Площадь круга, длина окружности которого равна окружность бассейна $A_0, км^2$	3332,9	Рассчитывается из отношения длины окружности и площади круга: $P = Dл, A = \pi R^2$	Помогает найти другие характеристики бассейна.
Коэффициент формы	0,297	По формуле № 2 из табл. 1	Низкое значение указывает на то, что бассейн далеко не полностью однороден. В высокогорных районах бассейн имеет относительно круглую форму, а ниже по течению – прямоугольную.
Гипсометрический интеграл	0,42	По формуле № 6 из табл. 1	-
Гипсометрическая кривая	1,9	По формуле № 7 из табл. 1	-
Коэффициент рельефа м/км	28	По формуле № 4 из табл. 1	-
Число шероховатости	6,18	По формуле № 5 из табл. 1	Небольшое значение указывает на то, что коэффициент густоты речной сети и коэффициент рельефа невелики, в то время как площадь бассейна значительна.
Константа выживания потока	1.35	По формуле № 12 из табл. 1	-

Таблица 3 – Результат расчета параметров водосборного бассейна для объекта исследования по данным ЦМР

Порядок притока	Число притоков	Коэффициент бифуркации Rb	Общая длина притоков (км)	Коэффициент густоты речной сети (км/км ²)	Частота рек (1/км ²)	Средняя длина притока (км)	Текстура водосбора
1	268	1,751	367,552	0,744	0.5	1,37	2,615
2	153	2,94	276,264			1,8	
3	52	0,83	92,749			1,78	
4	62		74,447			1,20	
Сумма	535		811,014			-	
Способ решения (см. табл. 1)	ГИС-технология	Формула № 9	ГИС-технология	Формула № 10	Формула № 11	Формула №8	Формула № 13

Для исследуемого объекта гипсометрическая кривая имеет значение 1,9, а гипсометрический интеграл равен 0,42. Эти значения указывают на то, что объект находится в стадии зрелости (см. рисунок 2).

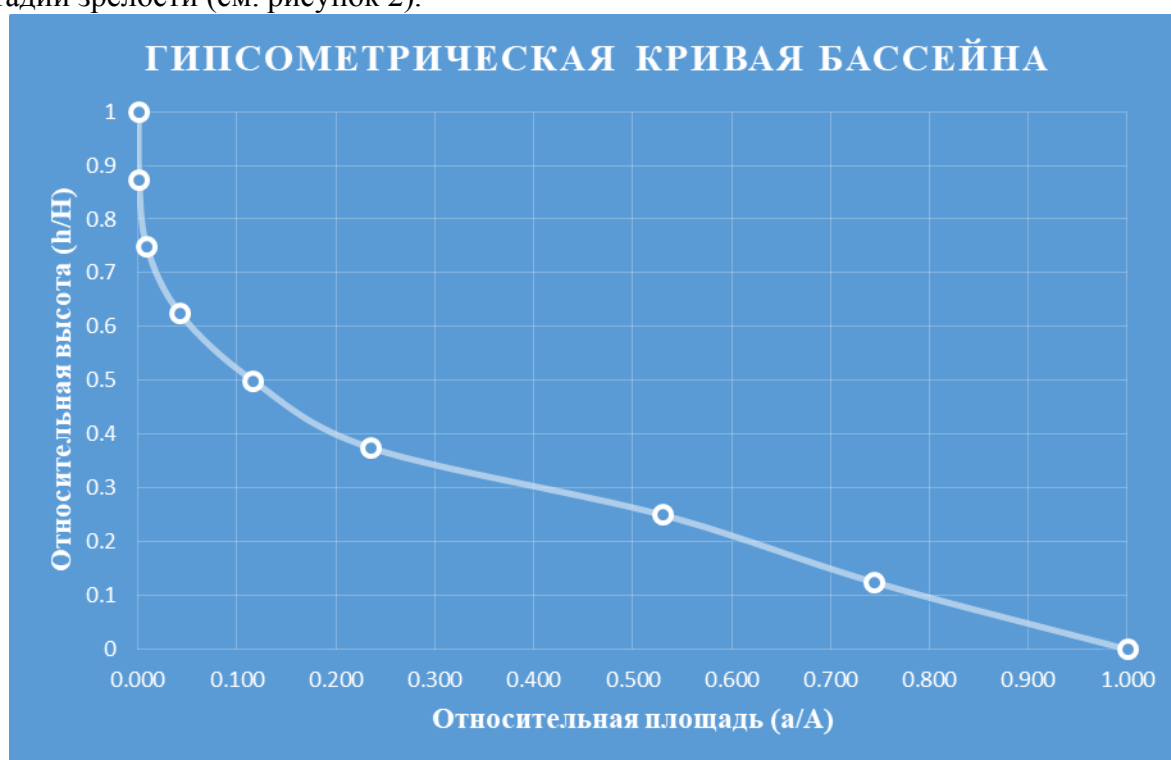


Рисунок 2 – Гипсометрическая кривая бассейна реки Ал Кабир Ал Шамали (Построена авторами с помощью программ Excel и ArcGIS Pro, по данным цифровой модели рельефа ASTER V3)

Уклон (градусы) объекта исследования

Чем больше уклон земной поверхности, тем выше скорость движения поверхностного стока, что приводит к увеличению степени концентрации и пика паводка. В рамках данного исследования метод регрессионного анализа был применен к каждой точке модели водосборного бассейна. Для этого данные модели были разделены на категории по уклону (рисунок 3) с использованием метода растрового анализа. Каждая ячейка в модели представляет собой наибольший уклон между ней и соседними ячейками. Чем больше уклон, тем выше высота в этой области. Соответственно, чем меньше уклон, тем ближе область к плоской форме. Диаграмма на рисунке 3 показывает процентное соотношение каждого класса уклона.

Наклон

Наклон в градусах

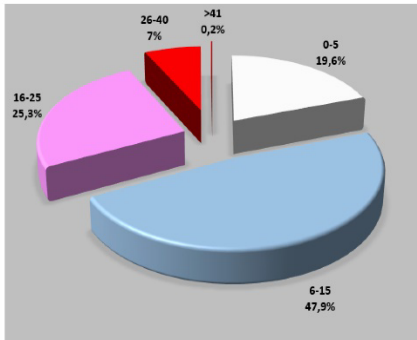
0-5 (Плоский)

6-15 (Вольнистый)

16-25 (Склон)

26-40 (Умеренно крутой)

>41 (Отвсный)



Диаграмма, показывающая % каждого класса

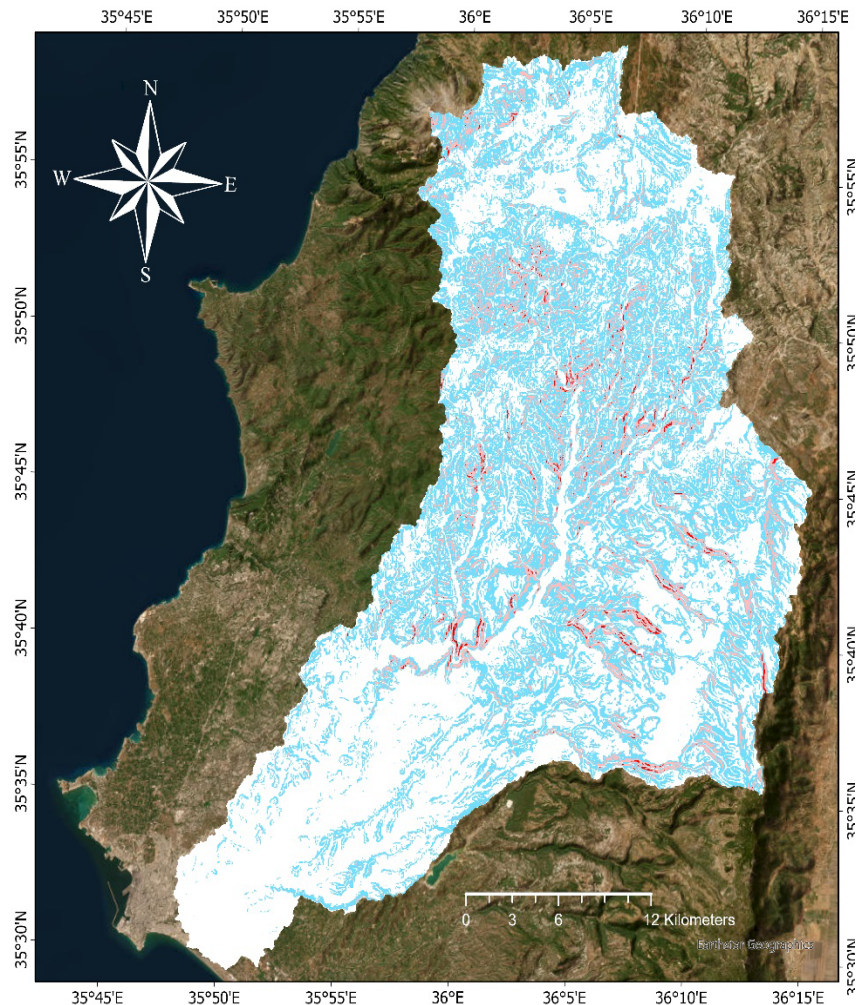


Рисунок 3 – Карта уклона (градусы) и диаграмма, показывающая % каждого класса уклона (построена авторами с помощью программы ArcGis Pro по данным цифровой модели рельефа ASTER V3)

Выводы

В исследовании используются ГИС-технологии и цифровая модель рельефа (ЦМР), полученная на основе спутниковых данных ASTER, для проведения морфометрического исследования бассейна реки Ал Кабир Ал Шамали. ЦМР используется для расчета важных параметров, связанных с формой бассейна, его топографией, дренажной системой и гидрологическими характеристиками. Эти параметры дают представление об эрозионных процессах, рисках наводнений, доступности воды и оптимальном управлении водными ресурсами.

Использование ГИС и ЦМР позволяет эффективно создать базу данных гидроморфометрических параметров для неизученных бассейнов, что проще и экономичнее традиционных методов анализа на местности. Исследование показывает, что ЦМР высокого разрешения являются необходимыми исходными данными для точного расчета морфометрических характеристик.

В целом, интеграция ГИС и дистанционного зондирования с помощью ЦМР позволяет проводить расширенный количественный анализ морфологии и гидрологии ландшафта. Методы, использованные в данном исследовании на примере бассейна реки Ал Кабир Ал Шамали, демонстрируют полезность этого подхода для управления водными ресурсами и оценки риска наводнений в регионах с дефицитом данных. Создание точных

гидроморфометрических баз данных способствует принятию обоснованных решений для повышения эффективности использования водных ресурсов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шекман Е. А. Развитие методов моделирования структуры речных бассейнов на основе средств ГИС // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2019. №. 4 (206). С. 136-145.
2. Шатрова К.В. Использование методов дистанционного зондирования земли в задачах мониторинга земель сельскохозяйственного назначения муниципального района. Сибирский федеральный университет, 2012. URL: <https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/7557> (дата обращения: 26.01.2013).
3. Абакумова А.А. Использование ГИС-технологий при анализе ландшафтов в бассейне р. Нура (Центральный Казахстан). Сибирский федеральный университет, 2020. 43 с. URL: <https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/135775> (дата обращения: 01.02.2024).
4. Waikar M.L., Nilawar A.P. Morphometric analysis of a drainage basin using geographical information system: a case study // Int. Journal of Multidisciplinary and Current Research. 2014. Vol. 2, pp. 179-184.
5. Bunmi M.R. et al. Morphometric Analysis of Asa and Oyun River Basins, North Central Nigeria Using Geographical Information System // American Journal of Civil Engineering. 2017. Vol. 5. No. 6, pp. 379-393.
6. Jha A., Gupta N.C., Dey B. Morphometric Analysis of Gandak River Drainage Basin Using Geographic Information System (GIS) And SRTM-DEM // Geology. 2022. Vol. 4. No. 18, pp. 31.
7. Grohmann C.H. Morphometric analysis in geographic information systems: applications of free software GRASS and R // Computers & Geosciences. 2004. Vol. 30. No. 9-10, pp. 1055-1067.
8. Mangan P., Haq M.A., Baral P. Morphometric analysis of watershed using remote sensing and GIS—a case study of Nanganji River Basin in Tamil Nadu, India // Arabian Journal of Geosciences. 2019. Vol. 12, pp. 1-14.
9. Погорелов А.В., Думит Ж.А. Морфометрия рельефа бассейна реки Кубани: некоторые результаты цифрового моделирования // Географические исследования Краснодарского края. 2007. № 2. С. 7-23.
10. Алали Х., Перминов А.В. Испарение воды из водохранилища 16 Тишрин в Сирии: измерение объема и оценка экономических последствий // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 3. С. 314–331.
11. Алали Х., Перминов А.В. Использование современных ГИС-технологий при анализе гидрологических данных для реки ал-Кабир ал-Шамали в Сирии // Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства: Сборник тезисов докладов VI Всероссийского научно-практического семинара (Москва, 24 мая 2023 г.). Москва: Издательство МИСИ-МГСУ, 2023. С. 174-175.
12. Haifa S., Assad A., Fares R. Temporal and spatial changes of some nitrogen pollutants in the lower section of the Alkabeer Alshamali River // Tishreen University Journal. Biological Sciences Series. 2022. Vol. 44. No. 2, pp. 213-225.
13. Haitham Janad, Kawkab Harba, Raneem Manna. A study of the water quality of the 16th Tishrin Dam Lake // Tishreen University Journal. Engineering Sciences Series,. 2013. Vol. 35. No. 9, pp. 167-182.
14. Maan Bobo. Calculation of actual storage capacity and the sediments volume in the Lake of 16 Tishreen Dam in Lattakia by topographic methods // Tishreen University Journal. Engineering Sciences Series. 2019. Vol. 41. No. 1, pp. 25-42.

15. Sukristiyanti S., Maria R., Lestiana H. Watershed-based morphometric analysis: a review // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 118. No. 1. ID 012028.
16. Strahler A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology // Transactions American Geophysical Union. 1957. Vol. 38, pp. 913-920.
17. Hurtrez J. E. , Sol. C., Lucazeau, F. Effect of drainage area on hypsometry from analysis of small scale drainage basins in the Siwalik Hills (Central Nepal) // Earth Surface Processes and Landforms. 1999. Vol. 24, pp. 799-808.
18. Luo. W. Hypsometric Analysis with a Geographic Information System // Computers and Geosciences. 1998. Vol. 24, pp. 815-821.
19. Horton R.E. Erosional development of streams and their drainage basins. Hydrogeological approach to quantitative geomorphology // Bulletin of geological society of America. 1945. Vol.56, pp. 275-370.
20. Melton, M.A. Geometric properties of mature drainage basin systems and their representation in E4 phase space // Journal of Geology. 1958. Vol. 66, pp.35-56.
21. Schumm S.A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey // Geological society of America bulletin. 1956. Vol. 67. No. 5, pp. 597-646.
22. Kopecký M., Macek M., Wild J. Topographic Wetness Index calculation guidelines based on measured soil moisture and plant species composition // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 757. ID 143785.
23. Florinsky I.V. An illustrated introduction to general geomorphometry // Progress in Physical Geography. 2017. Vol. 41, pp. 723–752.
24. Budiadi E., Ra T.L. Watershed characteristics of West Progo dome and its implications on neotectonic // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023. Vol. 1151. No. 1. ID 012025.
25. Bobade S., Dhawale A.W., Garg V. et al. Evaluation and comparison of morphometric parameters of Savitri watershed, India // Innovative Infrastructure Solutions. 2021. Vol. 6, pp. 1-20.
26. Редников С.Н., Наумова А.А. Оценка нормативных расчетных экстремальных характеристик стока при использовании различных законов распределения // Природообустройство. 2023. №3. С. 92-96.
27. Наумова А.А. Уточнение параметров экстремальных летних осадков для проектирования и эксплуатации ГТС на малых водосборах Центрально-Черноземного района России // Природообустройство. 2023. №4. С. 98-102.

REFERENCES

1. Shekman E. A. *Razvitie metodov modelirovaniya struktury rechnyh bassejnov na osnove sredstv GIS* [Development of methods for modeling the structure of river basins based on GIS tools]. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk*. 2019. No. 4 (206), pp. 136-145.
2. Shatrova K.V. *Ispol'zovanie metodov distancionnogo zondirovaniya zemli v zadachah monitoringa zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya municipal'nogo rajona* [Use of remote sensing methods in the tasks of monitoring of agricultural land of a municipal district]. Sibirskij federal'nyj universitet, 2012. URL: <https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/7557> (date accessed: 26.01.2013).
3. Abakumova A.A. *Ispol'zovanie GIS-tehnologij pri analize landshaftov v bassejne r. Nura (Central'nyj Kazahstan)* [Use of GIS-technologies in landscape analysis in the Nura River basin (Central Kazakhstan)]. Sibirskij federal'nyj universitet, 2020. 43 p. URL: <https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/135775> (date accessed: 01.02.2024).



4. Waikar M.L., Nilawar A.P. Morphometric analysis of a drainage basin using geographical information system: a case study. *Int. Journal of Multidisciplinary and Current Research*. 2014. Vol. 2, pp. 179-184.
5. Bunmi M.R. et al. Morphometric Analysis of Asa and Oyun River Basins, North Central Nigeria Using Geographical Information System. *American Journal of Civil Engineering*. 2017. Vol. 5. No. 6, pp. 379-393.
6. Jha A., Gupta N.C., Dey B. Morphometric Analysis of Gandak River Drainage Basin Using Geographic Information System (GIS) And SRTM-DEM. *Geology*. 2022. Vol. 4. No. 18, pp.31.
7. Grohmann C.H. Morphometric analysis in geographic information systems: applications of free software GRASS and R. *Computers & Geosciences*. 2004. Vol. 30. No. 9-10, pp. 1055-1067.
8. Mangan P., Haq M.A., Baral P. Morphometric analysis of watershed using remote sensing and GIS—a case study of Nanganji River Basin in Tamil Nadu, India. *Arabian Journal of Geosciences*. 2019. Vol. 12, pp. 1-14.
9. Pogorelov A.V., Dumit Zh.A. *Morfometriya rel'efa bassejna reki Kubani: nekotorye rezul'taty cifrovogo modelirovaniya* [Relief morphometry of the Kuban River basin: some results of digital modeling]. *Geograficheskie issledovaniya Krasnodarskogo kraya*. 2007. No. 2, pp. 7-23.
10. Alali H., Perminov A.V. *Isparenie vody iz vodohranilishcha 16 Tishrin v Sirii: izmerenie ob'ema i ocenka ekonomicheskikh posledstvij* [Evaporation of water from 16 Tishrin Reservoir in Syria: volume measurement and economic impact assessment]. *Melioraciya i gidrotekhnika*. 2023. Vol. 13, No. 3, pp. 314–331.
11. Alali H., Perminov A.V. *Ispol'zovanie sovremennyh GIS-tekhnologij pri analize gidrologicheskikh dannyh dlya reki al-Kabir al-Shamali v Sirii* [Use of modern GIS technologies in analyzing hydrological data for the al-Kabir al-Shamali River in Syria]. *Sovremennye problemy gidravliki i gidrotekhnicheskogo stroitel'stva: Sbornik tezisov dokladov VI Vserossijskogo nauchno-prakticheskogo seminaru (Moskva, 24 maya 2023 g.)*. Moskva: Izdatel'stvo MISI-MGSU, 2023. pp. 174-175.
12. Haifa S., Assad A., Fares R. Temporal and spatial changes of some nitrogen pollutants in the lower section of the Alkabeer Alshamali River. *Tishreen University Journal. Biological Sciences Series*. 2022. Vol. 44. No. 2, pp. 213-225.
13. Haitham Janad, Kawkab Harba, Raneem Manna. A study of the water quality of the 16th Tishrin Dam Lake. *Tishreen University Journal. Engineering Sciences Series*. 2013. Vol. 35. No. 9, pp. 167-182.
14. Maan Bobo. Calculation of actual storage capacity and the sediments volume in the Lake of 16 Tishreen Dam in Lattakia by topographic methods. *Tishreen University Journal. Engineering Sciences Series*. 2019. Vol. 41. No. 1, pp. 25-42.
15. Sukristiyanti S., Maria R., Lestiana H. Watershed-based morphometric analysis: a review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 118. No. 1. ID 012028.
16. Strahler A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions American Geophysical Union*. 1957. Vol. 38, pp. 913-920.
17. Hurtrez J. E., Sol. C., Lucazeau, F. Effect of drainage area on hypsometry from analysis of small scale drainage basins in the Siwalik Hills (Central Nepal). *Earth Surface Processes and Landforms*. 1999. Vol. 24, pp. 799-808.
18. Luo. W. Hypsometric Analysis with a Geographic Information System. *Computers and Geosciences*. 1998. Vol. 24, pp. 815-821.
19. Horton R.E. Erosional development of streams and their drainage basins. Hydrogeological approach to quantitative geomorphology. *Bulletin of geological society of America*. 1945. Vol.56, pp. 275-370.

20. Melton, M.A. Geometric properties of mature drainage basin systems and their representation in E4 phase space. *Journal of Geology*. 1958. Vol. 66, pp.35-56.

21. Schumm S.A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological society of America bulletin*. 1956. Vol. 67. No. 5, pp. 597-646.

22. Kopecký M., Macek M., Wild J. Topographic Wetness Index calculation guidelines based on measured soil moisture and plant species composition. *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 757. ID 143785.

23. Florinsky I.V. An illustrated introduction to general geomorphometry. *Progress in Physical Geography*. 2017. Vol. 41, pp. 723–752.

24. Budiadi E., Ra T.L. Watershed characteristics of West Progo dome and its implications on neotectonic. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023. Vol. 1151. No. 1. ID 012025.

25. Bobade S., Dhawale A.W., Garg V. et al. et al. Evaluation and comparison of morphometric parameters of Savitri watershed, India. *Innovative Infrastructure Solutions*. 2021. Vol. 6, pp. 1-20.

26. Rednikov S.N., Naumova A.A. *Oценка нормативных расчетных экстремальных характеристик стока при испол'зовании различных законов распределения* [Assessment of normative design extreme characteristics of runoff using different distribution laws]. *Prirodoobustrojstvo*. 2023. No. 3, pp. 92-96.

27. Naumova A.A. *Utochnenie parametrov ekstremal'nyh letnih osadkov dlya proektirovaniya i ekspluatacii GTS na malyh vodosborah Central'no-Chernozemnogo rajona Rossii* [Specification of parameters of extreme summer precipitation for the design and operation of hydraulic structures in small catchments of the Central Chernozem (Black Earth) zone of Russia]. *Prirodoobustrojstvo*. 2023. No. 4, pp. 98-102.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Алали Хозефа – аспирант, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева (127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49, e-mail: hothefa.alali@gmail.com).

Перминов Алексей Васильевич – кандидат технических наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева (127550, ул. Тимирязевская, 49, корп. 28, e-mail: alexperminov@gmail.com).

Редников Сергей Николаевич – доктор технических наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, ул. Тимирязевская, 49, корп. 28, e-mail: rednikov@rgau-msha.ru).

Алсадек Елиас Садек – аспирант, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева (127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49, e-mail: eliasalsadek@gmail.com).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alali Hothefa – Graduate student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, (127550, Moscow, 49, Timiryazevskaya St., e-mail: hothefa.alali@gmail.com).

Perminov Aleksey Vasilyevich – Ph.D. (Eng), Assoc. Prof., Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, (127550, Moscow, 49, Timiryazevskaya St., e-mail: alexperminov@gmail.com).

Reunion Sergey Nikolayevich – Dr. Sci. (Eng), Assoc. Prof., Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, (127550, Moscow, 49, Timiryazevskaya St., e-mail: rednikov@rgau-msha.ru)

Alsadek Elias Sadek – Graduate student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, (127550, Moscow, 49, Timiryazevskaya St., e-mail: eliasalsadek@gmail.com).



Статья поступила в редакцию 06.02.2024; одобрена после рецензирования 20.02.2024, принята к публикации 27.02.2024.

The article was submitted 06.02.2024; approved after reviewing 20.02.2024; accepted for publication 27.02.2024.