

Оригинальная статья

УДК 627.51:528.8

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-106-112



КАРТИРОВАНИЕ ОПАСНОСТИ ВНЕЗАПНЫХ НАВОДНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МОРФОМЕТРИЧЕСКОГО РАНЖИРОВАНИЯ

Мостафа Еззелдин^{1,2✉}, аспирант, ассистент преподавателя

ORCID: 0000-0003-0332-0424, Scopus: 57202866983; 1042195003@pfur.ru

Синиченко Евгений Константинович², доцент, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-9159-1218, Scopus: 6506801225; sinichenko-ek@rudn.ru

Грицук Илья Игоревич^{1,3,4}, доцент, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-5671-7620, Scopus: 17343469800; gritsuk-ii@rudn.ru

¹ Департамент строительства, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов (РУДН); 115419, г. Москва, ул. Орджоникидзе, 3, Россия

² Департамент гражданского строительства, инженерный факультет, Университет Менуфия, Шибин-эль-Ком, Египет; 32511, Египет

³ Институт водных проблем Российской академии наук, г. Москва, Россия

⁴ Автомобильно-дорожный государственный технический университет, г. Москва, Россия

Аннотация. Исследована и изучена степень опасности внезапных наводнений в Вади-Ватир с использованием технологий дистанционного зондирования и ГИС, с применением метода морфометрического ранжирования (МР). Внезапные паводки – это опасные природные явления, которые сложно предсказать. Прогнозирование районов, подверженных внезапным наводнениям, может спасти жизнь и имущество людей. Программное обеспечение географических информационных систем и дистанционное зондирование стали основными инструментами для оценки риска. Египет часто испытывает внезапные наводнения в разных областях – таких, как засушливые регионы. Вади-Ватир является одним из важных водоразделов, подверженных внезапным наводнениям. Затопление этого района подвергает опасности город Нувейба и главные транспортные магистрали. В исследованиях используется подход морфометрического ранжирования для оценки риска внезапных наводнений в Вади-Ватир с помощью дистанционного зондирования и географических информационных систем. Размер бассейна, форма, поверхность и дренажная сеть были среди 17 факторов, включенных в подход морфометрического ранжирования. Результаты показали, что 19 и 44,2% площади водосбора имеют низкую и среднюю степень опасности соответственно. Кроме того, 36,8% от общей площади водосбора имеют высокую степень опасности, поэтому территория должна быть хорошо защищена от внезапных паводков.

Ключевые слова: паводки, ГИС, метод морфометрического ранжирования, дистанционное зондирование, Вади-Ватир

Формат цитирования: Мостафа Еззелдин, Синиченко Е.К., Грицук И.И. Картирование опасности внезапных наводнений с использованием метода морфометрического ранжирования // Природообустройство. 2023. № 2. С. 106-112. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-106-112.

© Мостафа Еззелдин, Синиченко Е.К., Грицук И.И., 2023

Original article

FLASH FLOOD HAZARD MAPPING USING MORPHOMETRIC RANKING METHOD

Mostafa Ezzeldin^{1,2✉}, post graduate student, assistant of the lecturer

ORCID: 0000-0003-0332-0424, Scopus: 57202866983; 1042195003@pfur.ru

Sinichenko Evgeny Konstantinovich², associate professor, candidate of technical sciences

ORCID: 0000-0002-9159-1218, Scopus: 6506801225; sinichenko-ek@rudn.ru

Gritsuk Ilya Igorevich^{1,3,4}, associate professor, candidate of technical sciences

ORCID: 0000-0002-5671-7620; Scopus: 17343469800; gritsuk-ii@rudn.ru

¹ Department of Construction Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN), 115419, Moscow, Ordzhonikidze Str., 3, Russia

² Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Menoufia University, Shibin el-Com, Egypt; 32511, Egypt.

³ Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁴ Automobile and Road State Technical University, Moscow, Russia

Annotation. This work is aimed at researching and studying the severity of flash floods in Wadi Watir using remote sensing and GIS technologies using the morphometric ranking (MR) method. Flash floods

are natural hazards that are difficult to predict. Predicting flash floods in flood-prone areas can save lives and property. Geographic information systems software and remote sensing have recently become major sources of knowledge for risk assessment. Egypt often experiences flash floods in different areas, such as arid regions. Wadi Watir is one of the important watersheds prone to flash flooding. Flooding of the area endangers the town of Nuweiba and major traffic arteries. This study uses the morphometric ranking method to assess flash flood risk in Wadi Watir using remote sensing and geographic information systems. Seventeen parameters were used for the morphometric ranking approach. The parameters varied between basin size, shape, surface, and drainage network. The results showed that 19% and 44.2% of the watershed have low and moderate hazard degrees for flash floods, respectively. In addition, 36.8% of the total area of the watershed has the highest degree of danger, so this area must be well protected from the danger of flash floods.

Keywords: Flash floods, GIS, morphometric ranking method, remote sensing, Wadi Watir

Format of citation: Mostafa Ezzeldin, Sinichenko E.K., Gritsuk I.I. Flash flood hazard mapping using morphometric ranking method // Prirodoobustrojstvo. 2023. № 2. S. 106-112. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-106-112.

Введение. Внезапное наводнение – это наводнение, которое происходит быстро, обычно менее чем за 6 ч, в результате интенсивных или частых осадков. Данное явление определяется сильными ливнями, протекающими по руслам рек, улицам города, каналам или горным долинам. Через несколько минут или часов может начаться сильный дождь. Внезапные паводки также могут происходить даже в отсутствие дождя: например, при прорыве дамбы, плотины, при неожиданном сбросе воды, по причине затора льда или сточных вод. Тяжесть и частота природных катастроф значительно повысились в последние десятилетия в результате ухудшения состояния окружающей среды [1].

На интенсивность наводнений влияют многочисленные факторы, в том числе топография, география, инфраструктура, геоморфология, сток и изменение климата. Многие элементы, в том числе антропогенные и экологические процессы, характеристика и интенсивность стока, потери воды (инфильтрация и испарение) и осадки, приводят к внезапным наводнениям в пустынных районах [2].

Многочисленные геоморфологические исследования, проведенные в засушливых регионах по всему миру за последние несколько десятилетий, позволили улучшить геоморфологические методы предотвращения катастрофических опасностей и повысить осведомленность о геоморфологии наводнений, а также о полезности геоморфологических исследований и знаний, используемых при планировании [3]. Ущерб объектам инфраструктуры может быть уменьшен за счет выявления и прогнозирования мест, подверженных наводнениям. Эти действия также могут помочь в планировании будущих городов для минимизации этих рисков [4].

Дистанционное зондирование и географические информационные системы (ГИС)

являются отличными инструментами для быстрого исследования больших территорий. География поверхности, почвы, растения, землепользование, ландшафт, сооружения и инфраструктура, невидимые с земли, можно наблюдать в мельчайших деталях на спутниковых фотографиях. Данные факторы позволяют получить информацию, которая может помочь в поиске новых инструментов и более глубоком понимании доступных инструментов и альтернатив развития [5]. В последнее время эти технологии приобрели еще большее значение в качестве как методов оценки геоэкологических рисков, так и основного источника данных для оценки опасностей и стихийных бедствий. Во всем мире данные радиолокационного дистанционного зондирования часто используются для наблюдения за наводнениями. Наряду с этим в других исследованиях наносилось на карты воздействие наводнений с использованием ГИС и нейронных сетей [1, 6].

В различных районах Египта, особенно в Верхнем Египте, Восточной пустыне, прибрежных районах и сухих водоразделах на реке Нил, внезапные наводнения являются частыми [6, 7]. Одним из самых важных водоразделов Египта является Вади-Ватир, который уязвим для внезапных наводнений ввиду его каменистой местности, большой высоты и обильных зимних осадков. Во время паводков каньон водораздела расположен по пути быстро движущегося паводкового потока со значительными наносами. Международная автомагистраль также получает катастрофические повреждения и в нескольких местах полностью разрушена паводковой волной высотой от 1 до 2 м (рис. 1). Кроме того, паводки представляют опасность для города Нувейба, расположенного в устье каньона (рис. 2 б) [8].

Многочисленные исследования были сосредоточены на регионе Вади-Ватир. В качестве



Рис. 1. Международная автомагистраль, проходящая через выезд из Вади-Ватир, в нормальном состоянии и после наводнения в октябре 2008 г. [8]

Fig. 1. The international highway passing through the exit from Wadi Watir, in normal condition and after the flood in October 2008 [8]

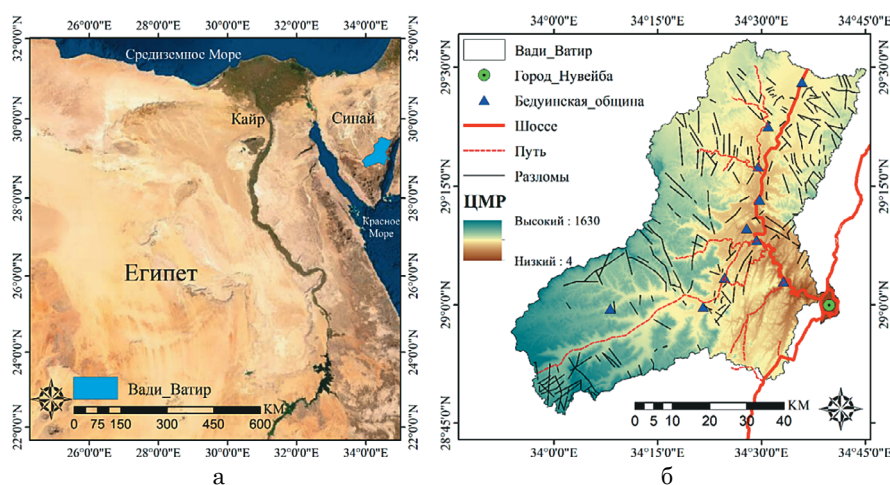


Рис. 2. Водораздел Вади-Ватир:

а – общая ориентация; б – основные характеристики

Fig. 2. Wadi-Watir watershed:

а – General orientation; б – Main characteristics

иллюстрации Мохамед и Фатахалла [9] использовали дистанционное зондирование и технологию ГИС как основу для геоморфологии, классификации и оценки почв Вади-Ватир. Авторы Кулс и др. [8] создали систему раннего предупреждения о внезапных наводнениях. В своей работе Мустафа и др. [10] оценили засоление и пополнение подземных вод на сухой прибрежной равнине водоносного горизонта дельты Вади-Ватир. Кроме того, Сара и др. [11] произвели геопрограммную оценку риска внезапных наводнений в районе Нувейбы. Сара [12] оценила потенциальную зону подземных вод в исследуемом районе с помощью дистанционного зондирования и ГИС. Усама [13] использовал численные модели подземных вод для оценки возможности хранения и восстановления водоносного горизонта (ASR) в дельте Вади-Ватир. Мостафа и др. [14] определили пригодность сбора дождевой воды для достижения целей устойчивого развития с использованием ГИС.

Наша работа направлена на исследование и изучение степени опасности внезапных наводнений в Вади-Ватир с использованием технологий дистанционного зондирования и ГИС, с применением метода морфометрического ранжирования (МР).

Материалы и методы исследований. Область исследований. Одним из наиболее уязвимых по отношению к наводнениям водосборных бассейнов Синайского полуострова является Вади-Ватир, который находится в городе Мухафаза в Южном Сине Египта. Данный регион является гипераридным водоразделом и имеет площадь около 3580 км² [8]. Он расположен между 28°46' и 29°33' северной широты и 33°53' и 34°44' восточной долготы соответственно (рис. 2). Район исследований граничит с обеих сторон с пересеченной гористой местностью и возвышенностями, которые варьируются от пологих равнин до скалистых крутых гор высотой от 8 до 1631 м над уровнем моря.

С учетом того, что и город Нувейба, и его порт расположены на берегах этой дельты, водораздел считается самым важным в регионе. Через порт Нувейба суда соединяют Иорданию, Саудовскую Аравию с Египетом [10]. Ежегодно в регионе выпадает около 200 млн м³ осадков. По причине крутого рельефа и большого количества твердых пород залив Акаба теряет большую часть осадков в виде стока поверхностных вод [13].

Методология исследований. При использовании данных Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) топография была изучена с помощью цифровой модели рельефа (ЦМР) с разрешением 30 м. Морфометрические параметры, включая площадь (А), длину бассейна (L_б), коэффициент рельефа (R_р), длину потока (L_п), номер потока (N_п) и др., были затем рассчитаны с использованием ЦМР после ее обработки в среде ГИС (табл.). Бассейн был разделен

Таблица 1. Морфометрические параметры и их формулы

Table 1. Morphometric parameters and their formulas

Параметр <i>Parameter</i>	Символ/формула <i>Symbol/formula</i>	Метод расчета <i>Method of calculation</i>	Использованная литература <i>References</i>
Площадь (км) / <i>Square (km)</i>	A	ArcGis	[16]
Периметр (км) / <i>Perimeter (km)</i>	P	ArcGis	[16]
Длина бассейна (км) <i>Length of the basin (km)</i>	L_b	ArcGis	[16]
Коэффициент формы <i>Form factor</i>	$R_f = A/(L_b)^2$		[11]
Коэффициент округлости <i>Roundness factor</i>	$R_y = 4\pi A/P^2$		[3]
Коэффициент удлинения <i>Coefficient of elongation</i>	$R_e = 2 (A/\pi)^{0.5}/L_b$		[16]
Шейп-фактор / <i>Shape factor</i>	$F_s = L_b^2/A$		[11]
Коэффициент компактности <i>Compactness factor</i>	$R_c = P/2(\pi A)^{0.5}$		[3]
Порядок потоков <i>Currents order</i>	u	Иерархический ранг <i>Hierarchical rank</i>	[15]
Длина потока (км) <i>Current length (km)</i>	L_u	ArcGis	[3]
Номер потока / <i>Current number</i>	N_u	ArcGis	[3]
Плотность дренажа (км ⁻¹) <i>Drainage density (km⁻¹)</i>	$D_d = \Sigma L_u/A$		[3]
Частота потоков <i>Currents frequency</i>	$F_q = \Sigma N_u/A$		[3]
Коэффициент бифуркации <i>Bifurcation coefficient</i>	$B_r = N_u/N_{u+1}$	(N_u) количество потоков указанного порядка и (N_{u+1}) количество потоков следующего порядка (N_u) quantity of currents of the specified order and (N_{u+1}) quantity of currents of the next order	[16]
Коэффициент текстуры <i>Texture factor</i>	$R_t = \Sigma N_u/P$		[3]
Коэффициент рельефа <i>Relief factor</i>	$R_h = R/L_b$	(R) Рельеф в км (R) Relief in km	[16]
Относительный коэффициент рельефа <i>Relative relief factor</i>	$R_v = R/P$		[11]
Индекс прочности <i>Strength index</i>	$R_l = R \cdot D_d$		[16]
Гипсометрический индекс <i>Hypsometric index</i>	$H_l = (E_{mean} - E_{min})/(E_{max} - E_{min})$	(E) Высота в км (E) Height in km	[11]
Уклон бассейна (градусы) <i>Basin slope (degrees)</i>	$S_B = (R/L_b) \cdot 60$		

на 37 подбассейнов для изучения потенциальных угроз паводков на основе статистики их морфометрических и геоморфологических параметров, в соответствии с распределением порядков потоков. Метод Стралера использовался

для установления порядка течения суббассейнов [15]. Потоки были разделены на 7 порядков (рис. 3).

Метод Элшейми, Индекс потенциала быстроразвивающихся паводков и МР – это

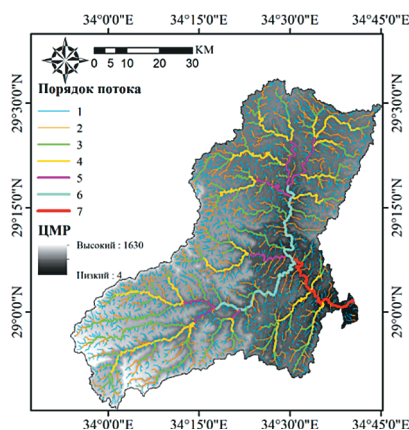


Рис. 3. Порядок потоков с фоном ЦМР

Fig. 3. The order of streams with the background of the DEM

несколько альтернатив, которые можно использовать для изучения восприимчивости суббассейнов к быстроразвивающимся паводкам [6]. Уровень опасности внезапных наводнений в Вади-Ватир был исследован авторами с использованием подхода МР.

Метод морфометрического ранжирования. Морфологические параметры являются основным направлением морфометрической интерпретации изучаемой территории. В морфометрическом анализе использовалось 17 параметров, которые были рассчитаны, как показано в таблице 1. Среди переменных были размеры, форма и поверхность дренажной сети, например: площадь [A], периметр [P], длина бассейна [L_b], коэффициент удлинения [R_e], коэффициент округлости [R_v], коэффициент формы [R_f], частота потока [F_q], коэффициент компактности [R_c], плотность дренажа [D_d], коэффициент текстуры [R_t], коэффициент относительного рельефа [R_v], индекс прочности [R_p], коэффициент рельефа [R_b], гипсометрический индекс [H_i] и уклон бассейна [S_B]). На рисунке 4 представлен образец рассчитанных параметров для каждого суббассейна.

Авторы Баджабаа и др. [17] разработали концепцию определения уровня опасности для каждого суббассейна. Шкала опасности для каждого параметра находится в диапазоне от 1 (самый низкий) до 5 (самый высокий). Для каждого суббассейна в районе исследований были определены самые низкие и самые высокие значения

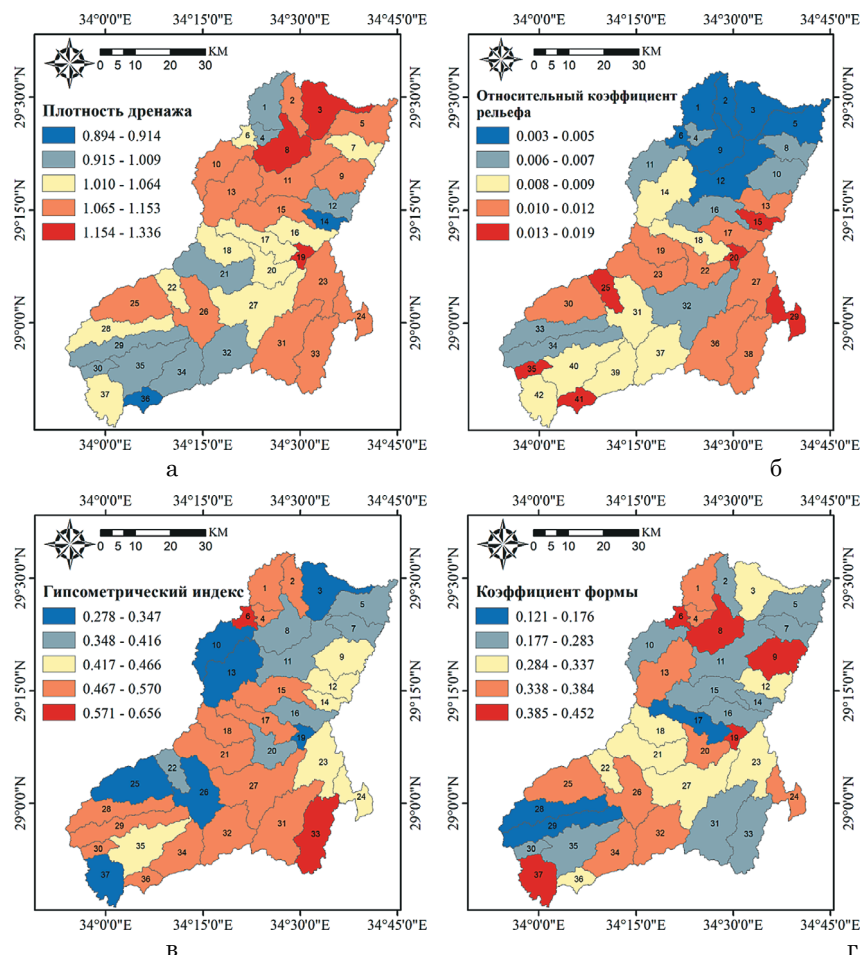


Рис. 4. Образцы карт рассчитанных морфометрических параметров:

а – плотность дренажа; б – относительный коэффициент рельефа; в – гипсометрический индекс; г – коэффициент формы

Fig. 4. Samples of maps of calculated morphometric parameters:

а – drainage density; б – the relative relief coefficient; в – hypsometric index; г – coefficient form

каждого параметра. Реальный уровень риска может быть определен с использованием соотношений, представленных ниже:

для прямо пропорциональных параметров

$$\text{степень опасности} = \frac{4(X - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})} + 1; \quad (1)$$

для обратно пропорциональных параметров

$$\text{степень опасности} = \frac{4(X - X_{\max})}{(X_{\min} - X_{\max})} + 1, \quad (2)$$

где X – значение морфометрического параметра; X_{max} – максимальное значение; X_{min} – минимальное значение.

Результаты и их обсуждение. Установлено, что 9 суббассейнов (19% площади исследований) относятся к низкой степени опасности паводков: один – посередине региона; 6 – на севере; 2 – на юго-востоке. Кроме того, 17 суббассейнов, занимающих 44,2% общей площади, отнесены к средней степени опасности: 7 – на юге;

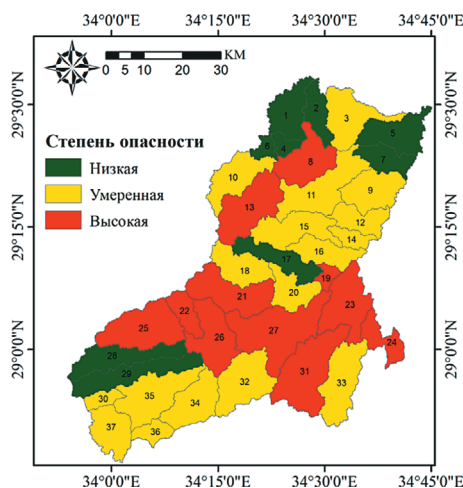


Рис. 5. Карта опасности внезапных наводнений

Fig. 5. Map of the danger of flash floods

остальные распределены в середине и на севере. Наконец, 36,8% площади бассейна (11 суббассейнов) очень уязвимы для быстро развивающихся паводков, сосредоточены в северной части южной половины и в районе выхода из водораздела. Данные суббассейны должны быть защищены от опасности внезапных паводков. Это может быть достигнуто за счет строительства защитных сооружений – таких, как запорные дамбы

и перколяционные резервуары. Кроме того, реализация таких проектов поможет в развитии Вади-Ватир, поскольку вода, собираемая из этих сооружений, может использоваться в сельском хозяйстве, промышленности и, в бытовых целях, что повысит уровень жизни местных жителей.

Выводы

В работе метод МР был использован для исследований степени опасности внезапных наводнений водораздела Вади-Ватир (Синай, Египет). Для текущего исследования были оценены и проанализированы 17 параметров, которые варьируются в зависимости от формы бассейна, поверхности и размеров, а также дренажной сети. Все параметры были сгенерированы в среде ГИС. Карта опасности внезапных наводнений была разработана и подразделена на 3 класса.

Результаты исследований показали, что степень опасности для 19%, 44,2% и 36,8% всей площади обводненного бассейна относится к низкой, средней и высокой степени соответственно. Зона повышенной опасности для ливневых паводков должна быть хорошо защищена путем строительства защитных сооружений, а аккумулялированная вода – использоваться в целях развития региона.

Информация о финансировании

Автор-корреспондент финансируется за счет стипендии по совместной программе между Арабской Республикой Египет и Российской Федерацией.

Funding Information

The author – correspondent is funded by a fellowship under a joint program between the Arab Republic of Egypt and the Russian Federation

Список использованных источников / References

1. Wael M.E., Mona G.I., Wael E.M. Flash flood risk estimation of WadiQena Watershed, Egypt Using GIS Based Morphometric Analysis // Journal of Applied Environmental Research. 2018. Vol. 40, № 1. Pp. 36-45. DOI: 10.35762/AER.2018.40.1.4.
2. Saleh A.S. Flash floods in deserts // A geomorphic study of desert Wadis Institute of Arab Research, Special Studies Series. 1989. Vol. 51. Pp. 1-93.
3. Yahya F., Omar A. Flash Flood Risk Estimation of WadiYutum (Southern Jordan) Watershed Using GIS Based Morphometric Analysis and Remote Sensing Techniques // Open Journal of Modern Hydrology. 2016. Vol. 6. Pp. 79-100.
4. Sabri H., Mohamed A., Raafat H., Mohamed A. Using remote sensing data for predicting potential areas to flash flood hazards and water resources Remote Sensing Applications // Society and Environment. 2019. Vol. 16.100254.
5. Elbehiry M.G., Sheded A., Abukhadra A., Elhuseiny M. Integrated GIS and Remote Sensing for Runoff Hazard Analysis in Ain Sukhna Industrial Area, Egypt // Earth Sciences. 2006. Vol. 17. Pp. 19-42.
6. Wael M.E., Mona G.I., Wael E.M., Shinjiro K. Developing an overall assessment map for flood hazard on large area watershed using multi-method approach: case study of WadiQena watershed, Egypt // Natural Hazards. 2019. Vol. 95. Pp. 739-767.
7. Mostafa E. Challenges of water resources management in Egypt and solution opportunities // Construction: Science and Education. 2020. Vol. 11, № 1. Pp. 1-14. <http://dx.doi.org/10.22227/2305-5502.2021.1.1>.
8. Cools J., Vanderkimpfen P., Elafandi G. et al. An early warning system for flash floods in hyper-arid Egypt // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2012. Vol. 12. Pp. 443-457.
9. Mohamed A.A., Fatahallah M.F. Geomorphology, Classification and Evaluation of WadiWatr Soils in Southeastern Sinai Using Combined Remote Sensing and GIS techniques // Oecologiaegyptiaca. 2008. Vol. 1. Pp. 30-46.
10. Mustafa A.E., James M.T., Greg P. et al. Groundwater recharge and salinization in the arid coastal plain aquifer of the WadiWatr delta, Sinai, Egypt // Applied Geochemistry. 2016. Vol. 71.48e62.

11. **Sara A., May Y., Samia I. et al.** Geospatial risk assessment of flash floods in Nuweiba area, Egypt // *Journal of Arid Environments*. 2016. Vol. 133. 54e72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.06.004>.

12. **Sara M.A.** Groundwater potential zone assessment in Wadi Watir area, Egypt using radar data and GIS // *Arabian Journal of Geosciences*. 2016. Vol. 9. P. 501.

13. **Osama M.S.** Use of Numerical Groundwater Modeling to Assess the Feasibility of Aquifer Storage and Recovery (ASR) in the Wadi Watir Delta, Sinai, Egypt // *Journal of Water Resource and Protection*. 2019. Vol. 11. Pp. 1462-1480. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2019.1112085>.

14. **Mostafa E., Sinichenko E.K., Gritsuk I.I.** Determining the suitability of rainwater harvesting for the achievement of sustainable development goals in Wadi Watir,

Egypt using GIS techniques // *Journal of Environmental Environment*. 2022. Vol. 313. 114990. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114990>.

15. **Strahler A.** Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks // *Geological Society of America Bulletin*. 1964. Vol. 63. 1117e1142.

16. **Schumm S.** Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy New Jersey // *Geological Society of America Bulletin*. 1956. Vol. 67, № 5. 597-646.

17. **Bajabaa S., Masoud M., Alamri N.** Flash flood hazard mapping based on quantitative hydrology, geomorphology and GIS techniques (case study of Wadi Al Lith, Saudi Arabia) // *Arabian Journal of Geosciences*. 2014. Vol. 7, № 6. Pp. 2469-2481.

Критерии авторства

Мостафа Еззелдин, Синиченко Е.К., Грицук И.И. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 13.01.2023

Одобрена после рецензирования 01.02.2023

Принята к публикации 01.02.2023

Criteria of authorship

Mostafa Ezzeldin, Sinichenko E.K., Gritsuk I.I. carried out theoretical and practical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest.

Contributions of the authors

All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication

The article was submitted to the editorial office 13.01.2023

Approved after reviewing 01.02.2023

Accepted for publication 01.02.2023