

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗДАНИЙ. ПРОБЛЕМЫ ЖКК. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ. БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ЭКОЛОГИЯ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 556.116.4:[628.11:69](620)

DOI: 10.22227/2305-5502.2023.2.7

Влияние ливневых паводков на строительство сооружений по сбору дождевой воды

Мостафа Еззелдин^{1,2}, Евгений Константинович Синиченко¹,
Илья Игоревич Грицук^{1,3,4}

¹ Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы (РУДН); г. Москва, Россия;

² Университет Менуфии; г. Шибин-эль-Ком, Египет;

³ Институт водных проблем Российской академии наук (ИПИ РАН); г. Москва, Россия;

⁴ Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ);
г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Нехватка пресной воды стала серьезной проблемой. Основные причины водного кризиса — рост населения и изменение климата. Египет — засушливая страна, которая сталкивается с дефицитом воды в результате растущего спроса и ограниченного предложения. В этой ситуации требуется применение новых подходов для решения проблем нехватки воды. Вади Ватир на Синайском полуострове, выбранный в качестве области исследования, — важный туристический и коммерческий водораздел, в котором отмечаются недостаток воды и угроза внезапных наводнений.

Материалы и методы. Впервые исследуется влияние непредсказуемых паводков на внедрение систем сбора дождевой воды (СДВ). Карты риска внезапных наводнений и структуры СДВ разработаны с помощью геоинформационной системы (ГИС).

Результаты. Установили, что пять перколяционных резервуаров, пять контрольных плотин, 11,15 км² площади наземных резервуаров для перколяции и 0,48 км² площади для фермерских прудов являются оптимальными под сбор воды во время внезапных наводнений.

Выводы. Определили развитие Вади Ватир и выделили три этапа. Показали, что возникновение непрогнозируемых наводнений влияет на планы развития. Воздействие внезапных наводнений следует учитывать при расчете проектной мощности сооружений СДВ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: засушливый регион, внезапное наводнение, ГИС, резервуар для перколяции, сбор дождевой воды, дистанционное зондирование, Вади Ватир

Благодарности. Соответствующий автор финансируется стипендией в рамках совместной программы между Арабской Республикой Египет и Российской Федерацией.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Еззелдин М., Синиченко Е.К., Грицук И.И. Влияние ливневых паводков на строительство сооружений по сбору дождевой воды // Строительство: наука и образование. 2023. Т. 13. Вып. 2. Ст. 7. URL: <http://ns-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.2.7

Автор, ответственный за переписку: Мостафа Еззелдин, 1042195003@pfur.ru.

Flash floods impact on the construction of rainwater harvesting structures

Mostafa Ezzeldin^{1,2}, Evgeny K. Sinichenko¹, Ilya I. Gritsuk^{1,3,4}

¹ Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN);
Moscow, Russian Federation;

² Menoufia University; Shebin-el-Kom, Egypt;

³ Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences (WPI RAS); Moscow, Russia Federation;

⁴ Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI); Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The lack of fresh water has become a serious problem. The main causes of the water crisis are population growth and climate change. Egypt is a very arid country which is facing water scarcity due to increasing demand and limited supply. Applying new approaches is required in this situation to deal with water scarcity. Wadi Watir in the Sinai Peninsula, chosen as the research area, is an important tourist and commercial watershed. It experiences water scarcity and the threat of flash floods. The residents are losing their crops and sheep. Roads are deserted, and their lives are in danger due to the periodic occurrence of flash floods.

Materials and methods. For the first time, the current research investigates the impact of flash floods on the implementation of rainwater harvesting (RWH) systems. The flash flood risk and RWH structure maps were overlaid using GIS.

Results. The results showed that five percolation tanks, five check dams, 11.15 km² of area for on-ground percolation tanks, and 0.48 km² of space for farm ponds are optimal for water harvesting during flash floods.

Conclusions. The development of Wadi Watir was prioritized and divided into three phases. Therefore, the occurrence of flash floods clearly affects the development plans. The impact of flash floods should be considered during the calculation of the design capacity of the RWH structures.

KEYWORDS: Arid region, Flash flood, GIS, Percolation tank, Rainwater harvesting, Remote sensing, Wadi Watir

Acknowledgement. The corresponding author is funded by a scholarship under the joint program between the Arab Republic of Egypt and the Russian Federation.

FOR CITATION: Ezzeldin M., Sinichenko E.K., Gritsuk I.I. Flash floods impact on the construction of rainwater harvesting structures. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2023; 13(2):7. URL: <http://ns-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.2.7

Corresponding author: Mostafa Ezzeldin, 1042195003@pfur.ru

ВВЕДЕНИЕ

Большинство людей на Земле испытывают проблемы с водой, согласно отчетам ООН и другим многочисленным исследованиям [1, 2]. Основными причинами нехватки воды, особенно в засушливых регионах, являются рост населения, изменение климата и глобальное потепление [3–5]. Поэтому необходимо искать альтернативные источники воды. Сбор дождевой воды (СДВ) — это полезный и динамичный ответ на проблемы с водой, которые существуют во многих частях мира. СДВ — это эффективный способ сбора пресной воды, пополнения запасов грунтовых вод и снижения риска внезапных наводнений [6–9].

Пожары и ливневые паводки в первую очередь вызваны изменением климата и глобальным потеплением. Ливневые паводки чрезвычайно опасны, поскольку происходят внезапно и непредсказуемо. Ливневые паводки угрожают как людям, так и имуществу [10]. Инфраструктура, география и геоморфология оказывают влияние на внезапные наводнения¹. Геоморфологические исследования проводились для улучшения стратегий смягчения последствий наводнений и демонстрации ценности геоморфологических исследований при планировании [11, 12].

Для картирования пригодности СДВ и опасности наводнений используются две основные методологии — географические информационные системы (ГИС) и дистанционное зондирование (ДЗ). Они использовались в различных исследованиях [13–18]. Кроме того, ГИС и ДЗ сегодня являются ключевыми инструментами для оценки геоэкологического риска и основным источником данных для оценки опасности [10, 19]. Для определения пригодности СДВ используется подход «служба охраны почв — метод числа кривых» (SCS-CN), гидрологическое моде-

лирование (ГМ) и анализ множественных соответствий (АМС) [9, 18, 20, 21]. Планирование и принятие решений в любой области поддерживается такими исследованиями [22].

Египет — засушливая страна с высоким уровнем испарения и малым количеством осадков. Египет испытывает проблему нехватки воды в результате роста населения и дефицита водных ресурсов. В результате правительство Египта ведет поиск новых решений водного кризиса, таких как СДВ. Изменение климата также вызвало сильные ливневые наводнения в различных частях Египта, особенно на Синайском полуострове. Район исследования (Вади Ватир, Синай, Египет) является засушливым регионом. Воды в Вади Ватир мало, земледелие и пастбища стали хуже. Из-за пересеченной местности и больших высот регион также подвержен внезапным наводнениям. Периодически в Вади Ватир происходят внезапные наводнения.

Водораздел Вади Ватир был предметом различных исследований из-за его важности. Альзайед и др. [23] оценили вероятность сбора воды с помощью ГИС и ДЗ. Они рассчитали, сколько воды может быть собрано. Потенциал СДВ был изучен путем интеграции ДЗ, ГИС, СМВ (система моделирования водоразделов) и ПАИ (процесс аналитической иерархии) [9]. Были предложены места для сооружений СДВ (цистерны и плотины). Кулс и др. [24] создали систему раннего оповещения о внезапных наводнениях. Кроме того, Сарой и др. [25] была проведена геопространственная оценка риска внезапных наводнений в регионе Нувейба.

Используя методы ГИС, Е. Мостафа и др. [17] определили пригодность Вади Ватир для ГВС. Были определены оптимальные места для сооружений СДВ. Были предложены перколяционные резервуа-

¹ 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.

ры, контрольные дамбы и фермерские пруды. Риск внезапных наводнений в Вади Ватир был изучен Мостафой [26]. Для каждого подводораздела степень опасности была оценена и разделена на три класса: высокая, умеренная и низкая. Результаты двух предыдущих исследований были использованы в качестве исходных данных для данного исследования.

Насколько известно авторам, влияние ливневых паводков на реализацию структур СДВ ранее не обсуждалось. Поэтому целью данного исследования является определение порядка установки сооружений СДВ в зависимости от степени опасности ливневых паводков. Изучение возникновения ливневых паводков является одной из задач исследования, чтобы максимизировать количество собираемой воды и снизить риск ливневых паводков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Район исследования

Территория исследования — Вади Ватир. Он расположен на Синайском полуострове в Египте, между 33°53' и 34°44' восточной долготы и 28°46' и 29°33' северной широты. Считается самым значительным водоразделом в Акаба Гольф. Город Нувейба расположен на выходе из водораздела. Это важный туристический и торговый город, поскольку его гавань связывает Египет, Иорданию и Саудовскую Аравию. Поэтому водосбор Вади Ватир изучался в разное время [9, 17, 25–28] (рис. 1).

Жители Вади Ватир страдают от нехватки воды, в результате чего у них гибнут овцы и посевы. Быстрое изменение климата на Синае усугубляет водный кризис, поскольку средняя температура повышается, а количество осадков уменьшается [3]. Восточный тектонический разлом на Синае является местом образования Вади Ватир. Тектонический рифт идентифицируется серией сдвиговых

разломов, которые создают структурно вытянутые вниз рифтовые долины. Основными источниками подземных вод в Вади Ватир являются канал Эль Шейх Аттия и источники Фуртага. Водосборный резервуар образуется в результате инфильтрации подземных вод через разломы, швы и трещины [9, 29]. Поэтому крайне важно проводить экспериментальные исследования текстуры почвы в каждом исследуемом регионе [30, 31]. В районе исследований ежегодно выпадает 200 млн м³ осадков, а высота над уровнем моря колеблется от 4 до 1630 м [28].

Собранные данные

Исходные данные для настоящего исследования были собраны следующим образом:

- результаты оценки пригодности СДВ были получены от Е. Мостафа и др. [17];
- результаты оценки опасности ливневых паводков были использованы по материалам Мостафа [26].

Определение пригодности к использованию СДВ

Пригодность Вади Ватир для СДВ была определена с помощью комбинации ГИС, ДЗ, АМС и ГМ [17]. Были использованы 11 биофизических (например, землепользование, площадь бассейна, уклон и сток) и социально-экономических (например, расстояние до населенных пунктов, бедуинских общин и дорог) параметров. Данные о стоке были рассчитаны по данным об осадках с использованием метода SCS-CN. Для создания карты пригодности для СДВ использовались метод взвешенной линейной комбинации и метод Булева (рис. 2).

Определение оптимальных мест для размещения сооружений СДВ

Вычитание исходной ЦМР из заполненной ЦМР дает глубину впадины. Глубина впадины, булевский анализ и метод ВЛК (взвешенная линейная комбинация)

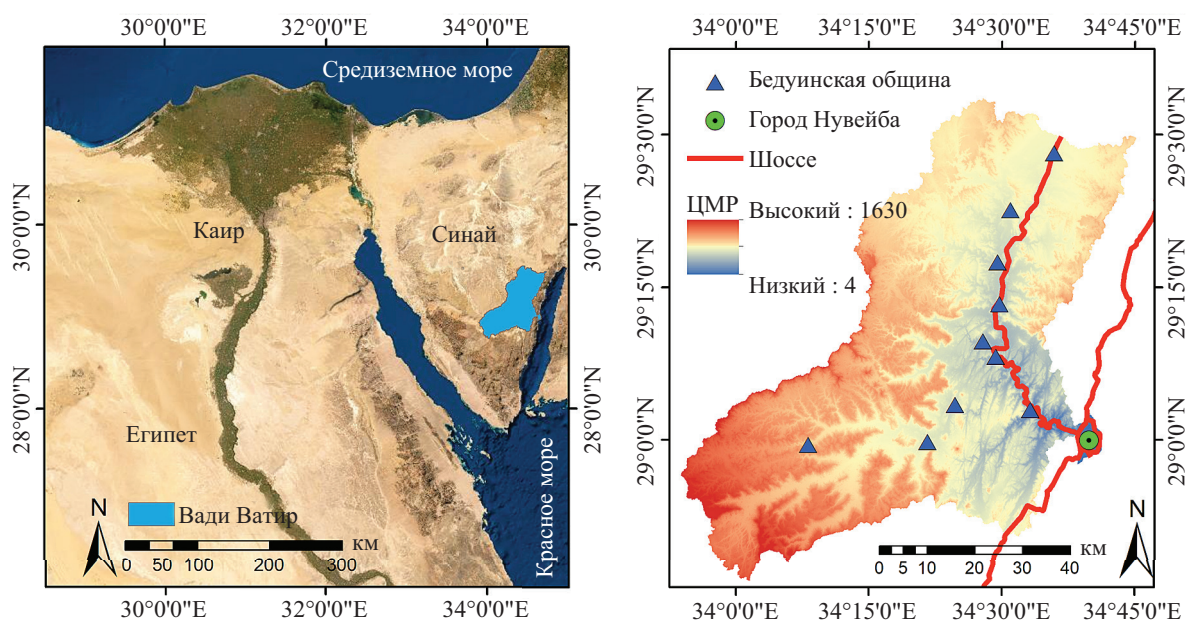


Рис. 1. Расположение и основные характеристики Вади Ватир

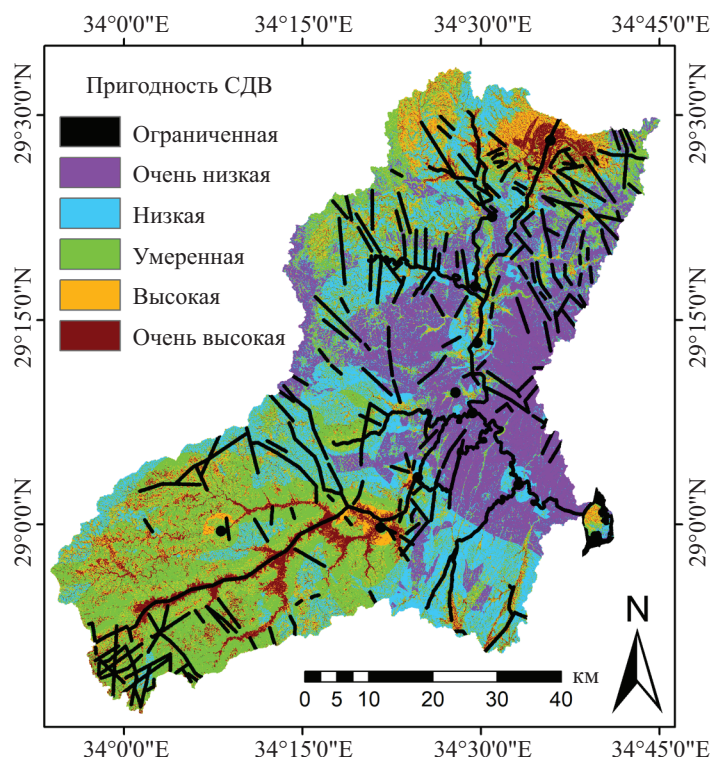


Рис. 2. Карта пригодности СДВ. Изменения, внесенные Е. Мостафа и др. (2022)

ция) были объединены для определения оптимальных мест для сооружений СДВ. Места с высокой пригодностью для СДВ и смежными зонами депрессии являются лучшими местами для сооружений СДВ. Булев подход, созданный Сингхом и др. [18], для определения местоположения сооружений СДВ определяется в первую очередь землепользованием, характеристиками почвы и топографией. Рассматриваемые с ооружения СДВ — это обратные плотины, фермерские пруды и перколяционные резервуары (на земле и вдоль ручьев). Существует двенадцать мест, подходящих для установки обратных дамб. Наилучшие места для размещения перколяционных резервуаров вдоль ручьев обнаружены в четырнадцати различных местах. 25,9 км² — площадь региона, подходящая для размещения наземных перколяционных резервуаров. 1,34 км² — идеальное место для фермерских прудов (рис. 3).

Составление карты опасности наводнений

Е. Мостафа [26] создал карту опасности наводнений, использованную в данном исследовании. Цифровая модель рельефа была обработана с помощью ГИС для определения морфометрических характеристик территории исследования. Водораздел был разделен на подводоразделы, и порядок потоков в каждом подводоразделе был определен с помощью метода Стралера². Уязвимость каждого подводораздела к внезапным наводнениям была исследована с помощью метода морфометрического ранжирования. Для применения морфометрического анализа использова-

лось 17 параметров. Параметры зависят от размеров дренажной сети и бассейна, формы и поверхности (например, площадь, длина бассейна, коэффициент текстуры, коэффициент округлости, плотность дренажа, частота потока, уклон бассейна и коэффициент рельефа). Как показано на рис. 4, степень опасности

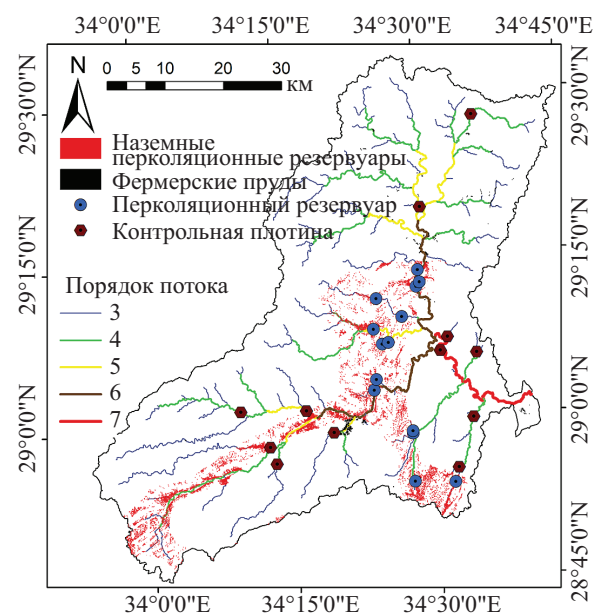


Рис. 3. Локализация структур СДВ. Изменения, внесенные Е. Мостафа и др. (2022) [17]

² Strahler A.N. Quantitative geomorphology. Geomorphology. Encyclopedia of Earth Science. Springer, Berlin, Heidelberg, 1968. DOI: 10.1007/3-540-31060-6_304

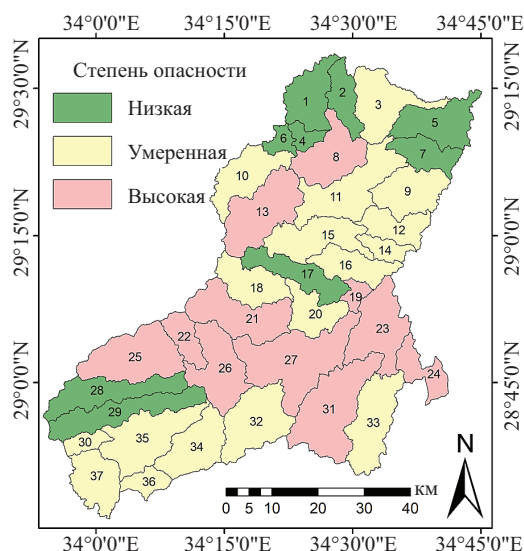


Рис. 4. Карта опасности внезапных наводнений. Изменения, внесенные Е. Мостафа (2022)

ливневых паводков была оценена и классифицирована на три класса: низкий, умеренный и высокий.

Влияние ливневых паводков на реализацию конструкций СДВ

В системе ГИС карта опасности ливневых паводков была разделена на три части в соответствии со степенью опасности. Аналогично, предлагаемые конструкции СДВ были разделены на три части. Карта опасности была сгенерирована как базовая карта, а структуры СДВ были наложены сверху. В зависимости от степени опасности, этот метод позволил получить три разных случая. Установка предлагаемых сооружений СДВ была приоритетной. Были определены наиболее подходящие сооружения для сбора воды во время ливневых паводков.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты исследования разделены на три случая в соответствии со степенью опасности ливневых паводков.

Конструкции СДВ, расположенные в зонах с низкой степенью опасности ливневых паводков

Территория с низкой степенью опасности ливневых паводков составляет 19 % исследуемой территории [26]. Выяснилось, что две обратные плотины и два перколяционных резервуара находятся в малоопасных зонах. Кроме того, 2,13 км² (8,22 %) площади наземных перколяционных резервуаров и 0,11 км² (8,21 %) площади фермерских прудов находятся в зонах низкой опасности, см. рис. 5 (табл.). Эти сооружения наименее пригодны для сбора воды во время ливневых паводков. Поэтому строительство этих сооружений должно быть последним этапом развития Вади Ватир.

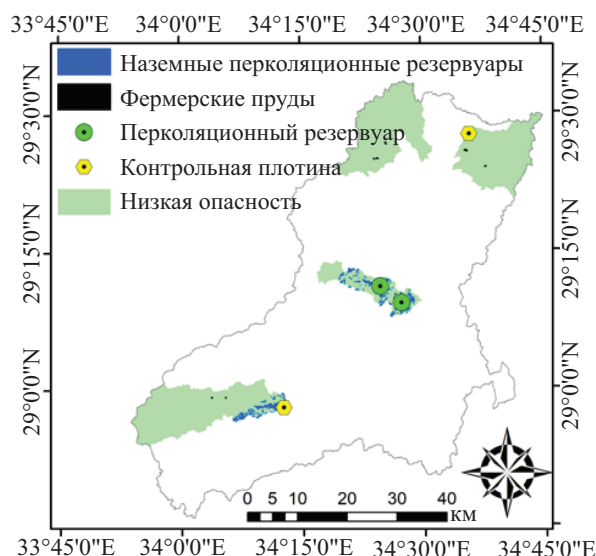


Рис. 5. Сооружения СДВ в малоопасной зоне

Конструкции СДВ, расположенные в зонах умеренной опасности ливневых паводков

Е. Мостафа [26] уточнил, что 44,2 % водосборного бассейна Вади Ватир умеренно уязвимы для ливневых паводков. Как показано на рис. 6, в зоне умеренной опасности ливневых паводков находятся пять плотин, семь перколяционных резервуаров, 12,62 км² (48,73 %) площади для наземных перколяционных резервуаров и 0,75 км² (55,97 %) площади фермерских прудов (табл.). Примерно половина предлагаемых сооружений СДВ находится в зонах умеренной опасности. В случае внезапного наводнения вероятность использования этих сооружений для сбора воды возрастает. Реализация этих структур должна стать вторым приоритетом при разработке направления исследований.

Сооружения СДВ, расположенные в зонах с высокой степенью опасности ливневых паводков

Территория с высокой степенью опасности ливневых паводков составляет 36,8 % водосбора. Пять плотин, пять перколяционных резервуаров, 11,15 км² площади наземных перколяционных резервуаров и 0,48 км² площади фермерских прудов расположены в зоне высокой степени опасности ливневых паводков, как показано на рис. 7 (табл.). Сооружения СДВ в этом районе являются наиболее подходящими для сбора воды в случае ливневого паводка. Развитие водосбора Вади Ватир должно начинаться с этого региона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящем исследовании изучалось влияние степени опасности ливневых паводков на выполнение конструкций СДВ для водосбора Вади Ватир (Синайский полуостров, Египет). Объединение картографирования пригодности СДВ и опасности ливневых паводков в системе ГИС было эффективным

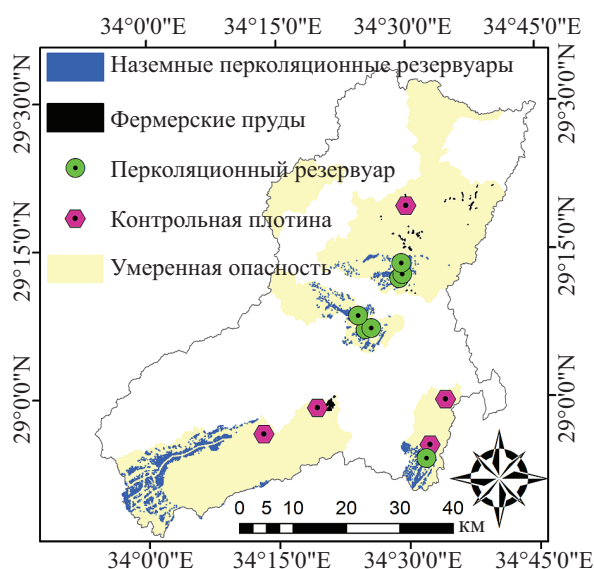


Рис. 6. Сооружения СДВ в зоне умеренной опасности

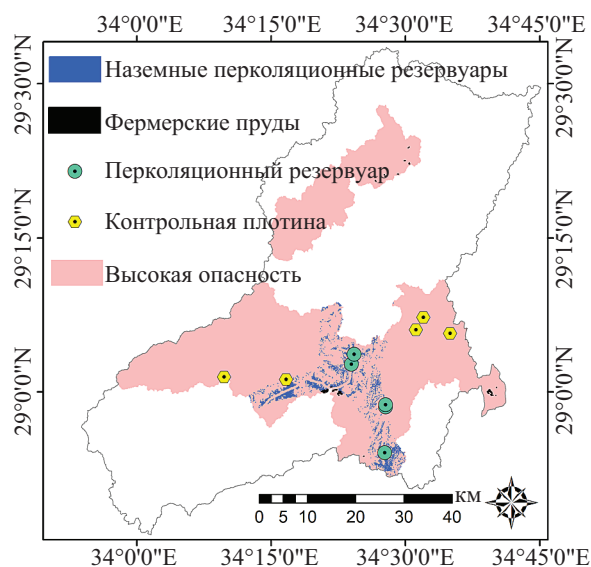


Рис. 7. Сооружения СДВ в зоне повышенной опасности

Распределение сооружений сбора дождевой воды (СДВ) по степени опасности

Степень опасности	Разделение по площади	Наземные перколяционные резервуары (25,9 км ²)	Фермерские пруды (1,34 км ²)	Перколяционные резервуары (14)	Контрольные плотины (12)
Низкая	680,2 км ² (19 %)	2,13 км ² (8,22 %)	0,11 км ² (8,21 %)	2	2
Умеренная	1582,4 км ² (44,2 %)	12,62 км ² (48,73 %)	0,75 км ² (55,97 %)	7	5
Высокая	1317,4 км ² (36,8 %)	11,15 км ² (43,05 %)	0,48 км ² (35,82 %)	5	5

методом и позволило достичь основных целей исследования. Метод определил периодизацию развития исследуемой территории во время ливневых паводков. Процесс развития Вадии Ватир был разделен на три фазы в соответствии со степенью опасности ливневых паводков следующим образом:

- фаза I: реализация конструкций СДВ, расположенных в регионах с высокой степенью опасности. Эта область включает 5 перколяционных резервуаров, 5 обратных дамб, 11,15 км² площади наземных перколяционных резервуаров и 0,48 км² для фермерских прудов. Эти сооружения оптимальны для сбора воды во время ливневых паводков;
- фаза II: строительство сооружений в зонах умеренной опасности. Это 7 перколяционных резервуаров,

5 обратных дамб, 12,62 км² для наземных перколяционных резервуаров и 0,75 км² для фермерских прудов;

- фаза III: установка сооружений в малоопасных районах, которая включает в себя два перколяционных резервуара, две контрольные дамбы, 2,13 км² для наземных перколяционных резервуаров и 0,11 км² для фермерских прудов.

Результаты данного исследования помогут лицам, принимающим решения, разработать план развития Вадии Ватир. Внедрение систем СДВ имеет различные экологические и социально-экономические последствия, поэтому последствия должны быть точно изучены. Кроме того, строительство сооружений СДВ требует различных детальных исследований, таких как полевые изыскания.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Elhassnaoui I., Moumen Z., Tvaronavičienė M., Ouarani M., Ben-Daoud M., Serrari I. et al. Management of water scarcity in arid areas: a case study (Ziz Watershed) // Insights into Regional Development. 2021. Vol. 3. Issue 1. Pp. 80–103. DOI: 10.9770/IRD.2021.3.1(5)

2. Melese T., Belay T. Groundwater potential zone mapping using analytical hierarchy process and GIS in Muga Watershed, Abay Basin, Ethiopia // Global Challenges. 2022. Vol. 6. Issue 1. P. 2100068. DOI: 10.1002/gch2.202100068

3. *Dadamouny M.A., Schnittler M.* Trends of climate with rapid change in Sinai, Egypt // *Journal of Water and Climate Change*. 2016. Vol. 7. Issue 2. Pp. 393–414. DOI: 10.2166/wcc.2015.215
4. *Matomela N., Li T., Ikhumhen H.* Siting of Rainwater Harvesting Potential Sites in Arid or Semi-arid Watersheds Using GIS-based Techniques // *Environmental Processes*. 2020. Vol. 7. Issue 2. Pp. 631–652. DOI: 10.1007/s40710-020-00434-7
5. *Filho W.L., Totin E., Franke J.A., Andrew S.M., Abubakar I.R., Azadi H. et al.* Understanding responses to climate-related water scarcity in Africa // *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 806. P. 150420. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.150420
6. *Abd-Elaty I., Shoshah H., Zeleňáková M., Kushwaha N.L., El-Dean O.W.* Forecasting of flash floods peak flow for environmental hazards and water harvesting in desert area of El-Qaa Plain, Sinai // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. Vol. 19. Issue 10. P. 6049. DOI: 10.3390/ijerph19106049
7. *Akter A., Ahmed S.* Rainwater harvesting potentials for a water-scarce city in Bangladesh // *Proceedings of the Institution of Civil Engineers — Water Management*. 2021. Vol. 174. Issue 2. Pp. 84–98. DOI: 10.1680/jwama.19.00030
8. *Harka A.E., Roba N.T., Kassa A.K.* Modelling rainfall runoff for identification of suitable water harvesting sites in Dawe River watershed, Wabe Shebelle River basin, Ethiopia // *Journal of Water and Land Development*. 2020. Vol. 47. Issue X-XII. Pp. 186–195. DOI: 10.24425/jwld.2020.135313
9. *Elewa H.H., Zelenakova M., Nosair A.M.* Integration of the analytical hierarchy process and GIS spatial distribution model to determine the possibility of runoff water harvesting in dry regions: Wadi Watir in Sinai as a case study // *Water*. 2021. Vol. 13. Issue 6. P. 804. DOI: 10.3390/w13060804
10. *Elsadek W.M., Ibrahim M.G., Mahmood W.E.* Flash flood risk estimation of Wadi Qena Watershed, Egypt Using GIS based morphometric analysis // *Applied Environmental Research*. 2018. Pp. 36–45. DOI: 10.35762/AER.2018.40.1.4
11. *Pathak S.D., Kulshrestha M.* A framework for assessment of flood vulnerabilities — case of Narmada River Basin, India // *Proceedings of the Institution of Civil Engineers — Water Management*. 2022. Vol. 175. Issue 5. Pp. 217–232. DOI: 10.1680/jwama.20.00009
12. *Farhan Y., Anaba O.* Flash flood risk estimation of Wadi Yutum (Southern Jordan) watershed using GIS based morphometric analysis and remote sensing techniques // *Open Journal of Modern Hydrology*. 2016. Vol. 06. Issue 02. Pp. 79–100. DOI: 10.4236/ojmh.2016.62008
13. *Adham A., Sayl K.N., Abed R., Abdeladhim M.A., Wesseling J.G., Riksen M. et al.* A GIS-based approach for identifying potential sites for harvesting rainwater in the Western Desert of Iraq // *International Soil and Water Conservation Research*. 2018. Vol. 6. Issue 4. Pp. 297–304. DOI: 10.1016/j.iswcr.2018.07.003
14. *Elboshy B., Alwetaishi M., Aly R.M.H., Zalhaf A.S.* A suitability mapping for the PV solar farms in Egypt based on GIS-AHP to optimize multi-criteria feasibility // *Ain Shams Engineering Journal*. 2022. Vol. 13. Issue 3. P. 101618. DOI: 10.1016/j.asej.2021.10.013
15. *Campos A.F., Alava J., Sinichenko E.K., Gritsuk I.I.* Influence of the El Niño phenomena on the climate change of the Ecuadorian coast // *RUDN Journal of Engineering Research*. 2018. Vol. 19. Issue 4. Pp. 513–523. DOI: 10.22363/2312-8143-2018-19-4-513-523
16. *Mansour M.M., Ibrahim M.G., Fujii M., Nasr M.* Sustainable development goals (SDGs) associated with flash flood hazard mapping and management measures through morphometric evaluation // *Geocarto International*. 2022. Vol. 37. Issue 26. Pp. 11116–11133. DOI: 10.1080/10106049.2022.2046868
17. *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 Management*. 2022. Vol. 313. P. 114990. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.114990
18. *Singh L.K., Jha M.K., Chowdary V.M.* Multi-criteria analysis and GIS modeling for identifying prospective water harvesting and artificial recharge sites for sustainable water supply // *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 142. Pp. 1436–1456. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.11.163
19. *Elsadek W.M., Ibrahim M.G., Mahmood W.E., Kanae S.* Developing an overall assessment map for flood hazard on large area watershed using multi-method approach: case study of Wadi Qena watershed, Egypt // *Natural Hazards*. 2019. Vol. 95. Issue 3. Pp. 739–767. DOI: 10.1007/s11069-018-3517-3
20. *Jha M.K., Chowdary V.M., Kulkarni Y., Mal B.C.* Rainwater harvesting planning using geospatial techniques and multicriteria decision analysis // *Resources, Conservation and Recycling*. 2014. Vol. 83. Pp. 96–111. DOI: 10.1016/j.resconrec.2013.12.003
21. *Krois J., Schulte A.* GIS-based multi-criteria evaluation to identify potential sites for soil and water conservation techniques in the Ronquillo watershed, northern Peru // *Applied Geography*. 2014. Vol. 51. Pp. 131–142. DOI: 10.1016/j.apgeog.2014.04.006
22. *Sarif M.O., Gupta R.D.* Spatiotemporal mapping of Land Use/Land Cover dynamics using Remote Sensing and GIS approach: a case study of Prayagraj City, India (1988–2018) // *Environment, Development and Sustainability*. 2022. Vol. 24. Issue 1. Pp. 888–920. DOI: 10.1007/s10668-021-01475-0
23. *Al Zayed I.S., Ribbe L., Al-Salhi A.* Water harvesting and flashflood mitigation-wadi watier case study (South Sinai, Egypt) // *International Journal of Water Resources and Arid Environments*. 2013. Vol. 2.

Issue 2. Pp. 102–109. URL: [https://www.psipw.org/attachments/article/340/IJWRAE_2\(2\)102-109.pdf](https://www.psipw.org/attachments/article/340/IJWRAE_2(2)102-109.pdf)

24. Cools J., Vanderkimpfen P., El Afandi G., Abdelkhalek A., Fockedey S., El Sammany M. et al. An early warning system for flash floods in hyper-arid Egypt // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2012. Vol. 12. Issue 2. Pp. 443–457. DOI: 10.5194/nhess-12-443-2012

25. Abuzied S., Yuan M., Ibrahim S., Kaiser M., Saleem T. Geospatial risk assessment of flash floods in Nuweiba area, Egypt // Journal of Arid Environments. 2016. Vol. 133. Pp. 54–72. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2016.06.004

26. Mostafa E. Flash flood hazard mapping using multi-method approach: Case study Wadi Watir, Egypt // Proceedings of ASU SciTech Forum, Barnaul, 2020. AIP publishing, USA, 2023.

27. Мосстафа Е. Управление водными ресурсами Египта: проблемы и способы решения // Строительство: наука и образование. 2021. Т. 11. № 1. С. 1. DOI: 10.22227/2305-5502.2021.1.1

28. Sallam O.M. 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. Issue 12. Pp. 1462–1480. DOI: 10.4236/jwarpr.2019.1112085

29. Eissa M.A., Thomas J.M., Pohll G., Shouakar-Stash O., Hershey R.L., Dawoud M. Groundwater recharge and salinization in the arid coastal plain aquifer of the Wadi Watir delta, Sinai, Egypt // Applied Geochemistry. 2016. Vol. 71. Pp. 48–62. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2016.05.017

30. Allam A., Helal E., Mansour M. Retarding contaminant migration through porous media using inclined barrier walls // Journal of Hydrology and Hydromechanics. 2019. Vol. 67. Issue 4. Pp. 339–348. DOI: 10.2478/johh-2019-0018

31. Helal E., Sobeih M., Ezz El-din M. Effect of Floating Bridges on Open Channels' Flow and Bed Morphology // Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 2018. Vol. 144. Issue 9. DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001331

Поступила в редакцию 17 декабря 2022 г.

Принята в доработанном виде 25 апреля 2023 г.

Одобрена для публикации 25 апреля 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: **Мостафа Еззелдин** — аспирант департамента строительства Инженерной академии; **Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы (РУДН)**; 115419, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3; ассистент преподавателя кафедры гражданского строительства, инженерный факультет; **Университет Менуфии**; 32511, Египет, г. Шибин-эль-Ком; ResearcherID: HCI-3277-2022, Scopus: 57202866983, ORCID: 0000-0003-0332-0424; 1042195003@pfur.ru;

Евгений Константинович Синиченко — кандидат технических наук, доцент департамента строительства Инженерной академии; **Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы (РУДН)**; 115419, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3; SPIN-код: 2900-7009, ResearcherID: AAB-3676-2020, Scopus: 6506801225, ORCID: 0000-0002-9159-1218; sinichenko-ek@rudn.ru;

Илья Игоревич Грицук — кандидат технических наук, доцент департамента строительства Инженерной академии; **Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы (РУДН)**; 115419, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3; **Институт водных проблем Российской академии наук (ИПИ РАН)**; 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3; **Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)**; 125319, г. Москва Ленинградский пр-т, д. 64; SPIN-код: 5449-8425, ResearcherID: P-3022-2014, Scopus: 17343469800, ORCID: 0000-0002-5671-7620; gritsuk-ii@rudn.ru.

Вклад авторов:

Еззелдин М. — концепция исследования, развитие методологии, участие в разработке учебных программ и их реализации, написание исходного текста, итоговые выводы.

Синиченко Е.К. — концепция исследования, доработка текста, итоговые выводы, научное руководство.

Грицук И.И. — концепция исследования, участие в разработке учебных программ и их реализации, доработка текста, итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

The majority of people on Earth experience water challenges, according to reports from the United Nations and other numerous researches [1, 2]. The main reasons of water scarcity, particularly in dry regions,

are population expansion, climate change, and global warming [3–5]. Therefore, it is necessary to look for alternative water sources. Rainwater harvesting (RWH) is a useful and dynamic answer to the water issues that exist in many parts of the world. RWH is an effective

way to collect freshwater, recharge groundwater, and lessen the risk of flash floods [6–9].

Fires and flash floods are primarily caused by climate change and global warming. Flash floods are extremely dangerous because they happen suddenly and unpredictably. Flash floods threaten both people and property [10]. Infrastructure, geography, and geomorphology all have an impact on flash floods¹. Geomorphic studies were carried out to enhance flood mitigation strategies and demonstrate the value of geomorphic studies in planning [11, 12].

For RWH suitability and flood hazard mapping, the two primary methodologies employed are geographic information systems (GIS) and remote sensing (RS). They have been employed in a variety of studies [13–18]. In addition, GIS and RS are now the key instruments for geoenvironmental risk assessment and the principal data source for hazard evaluation [10, 19]. The soil conservation service-curve number approach (SCS-CN), hydrological modelling (HM), and multi-criteria analysis (MCA) are coupled to identify RWH suitability [9, 18, 20, 21]. Planning and decision-making in any area of study are supported by such investigations [22].

Egypt is a dry country with high rates of evaporation and little precipitation. Egypt is experiencing a water shortage issue as a result of its expanding population and scarce water supplies. As a result, the Egyptian government is making a search for novel solutions to the water crisis, such as RWH. Climate change also caused severe flash floods in various parts of Egypt, particularly in the Sinai Peninsula. The research area (Wadi Watir, Sinai, Egypt) is an arid region. Water is scarce in Wadi Watir, farming and grazing have gotten worse. Due to the region's rugged terrain and high heights, it is also susceptible to flash floods. Periodically, flash floods happen in Wadi Watir.

The Wadi Watir watershed has been the subject of various studies because of its importance. Alzayed et al. [23] assessed the probability of water collection using GIS and HM. They calculated how much water may be gathered. The potential of RWH was studied by integrating RS, GIS, WMS, and AHP [9]. Locations for RWH structures (cisterns and dams) were suggested. Cools et al. [24] created a flash flood early warning system. Additionally, a geospatial flash flood risk assessment was carried out in the Nuweiba region by Sara et al. [25].

Using GIS techniques, Mostafa et al. [17] determined Wadi Watir's suitability for RWH. The optimum locations for RWH structures were determined. The suggested structures were percolation tanks, check dams and farm ponds. The risk of flash floods in Wadi Watir was studied by Mostafa [26]. For each sub-watershed, the hazard degree was estimated and divided into three classes: high, moderate, and low. the results

of the two previous investigations were utilised as the initial data for this study.

To the authors' knowledge, the impact of flash floods on the implementation of RWH structures hasn't been discussed before. Therefore, this research aims to prioritize the installation of RWH structures according to the flash flood hazard degree. Exploiting the occurrence of flash floods is one of the study's objectives in order to maximize the amount of water harvested and reduce the risk of flash floods.

MATERIALS AND METHODS

Study area

The research area of the current study is Wadi Watir. It is located on the Sinai Peninsula in Egypt, between longitude 33°53" and 34°44' E and latitude 28°46" and 29°33' N. It is regarded as the most significant watershed in Aqaba Golf. Nuweiba City lies at the outlet of the watershed. It is an important tourist and commercial city, as its harbor links Egypt, Jordan, and Saudi Arabia. Therefore, the Wadi Watir watershed has been studied at different times [9, 17, 25–28] (Fig. 1).

The residents of Wadi Watir are suffering from water shortage issues, and as a result, they are losing sheep and crops. The rapid climate change in Sinai exacerbates the water crisis as the average temperature rises and the amount of precipitation drops [3]. The eastern tectonic rift in Sinai is where Wadi Watir was created. The tectonic rift is identified by a series of shear faults that produce structurally prolonged downfault rift valleys. The primary groundwater sources in Wadi Watir are the El Shiekh Attia canal and Furtaga Springs. The watershed reservoir is created by groundwater infiltration through faults, joints, and cracks [9, 29]. Therefore, it is crucial to conduct experimental investigations on the soil texture of every study region [30, 31]. The research area receives 200 million m³ of rain annually, and its elevations range from 4 to 1630 m above sea level [28].

Data collected

The source data for the current study was collected as follows:

- the RWH suitability findings were obtained from Mostafa et al. [17];
- the results of the flash flood hazard assessment were used after Mostafa [26].

The Identification of RWH suitability

The RWH suitability of Wadi Watir was identified via a combination of GIS, RS, MCA, and HM [17]. Eleven biophysical (e.g., land use, basin area, slope, and runoff) and socioeconomic (e.g., distance to built-up areas, Bedouin communities, and roads) parameters were used. The runoff data was calculated from the precipitation data using the SCS-CN method. The weighted

¹ Saleh A.S. Flash floods in deserts. A geomorphic study of desert Wadis Institute of Arab Research, Special Studies Series. 1989; 51:1-93.

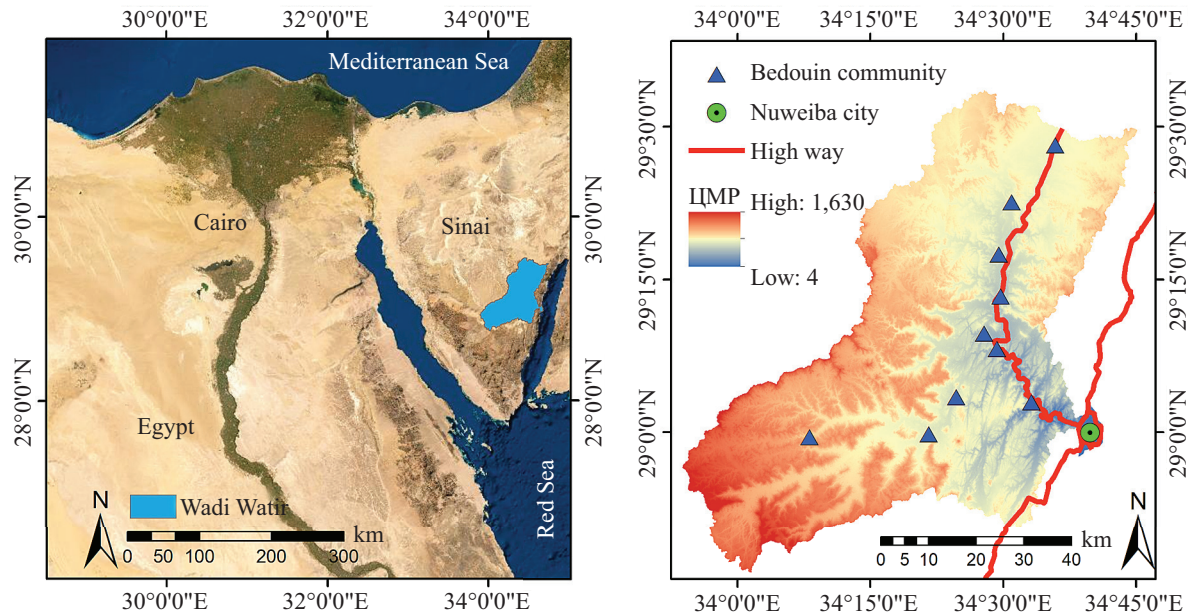


Fig. 1. The location and main characteristics of Wadi Watir

linear combination method and the Boolean technique were used to create the RWH suitability map (Fig. 2).

Identification of the optimum locations for the RWH structures

Subtracting the initial DEM from the filled DEM gives the depression depth. The depression depth, Boolean analysis, and WLC method were combined to locate the optimum sites for RWH structures. Locations with high suitability for RWH and contiguous depression zones are the best sites for RWH structures. The Boolean approach, created by Singh et al. [18], for locating RWH structure is primarily determined by land use, soil characteristics, and topography. The considered RWH structures are check dams, farm ponds, and percolation tanks (on the ground and along streams). There are twelve locations that are suitable for check dams. The best locations for placing percolation tanks along the streams are found to be at fourteen different locations. 25.9 km² is the area of the region thought to be appropriate for on-ground percolation tanks. 1.34 km² is the ideal space for farm ponds (Fig. 3).

Flash flood hazard mapping

Mostafa [26] created the flash flood hazard map used in the current research. The digital elevation model was processed using GIS to ascertain the research area's morphometric properties. The watershed was divided into sub-watersheds and the stream orders of each sub-watershed was determined using the Strahler method². The vulnerability of each sub-watersheds to flash floods was investigated using the morphometric ranking method. Seventeen parameters were used to apply the morphometric analysis. The parameters vary between the drainage network and basin dimensions,

shape, and surface (e.g., area, basin length, texture ratio, circularity ratio, drainage density, flow frequency, basin slope, and relief ratio). As shown in Fig. 4, the hazard degree for flash floods was estimated and classified into three classes: low, moderate, and high.

The effect of flash flooding on the implementation of RWH structures

In a GIS environment, the flash flood hazard map was separated into three parts according to the hazard degree. Similarly, the proposed RWH structures were divided into three sections. The hazard map was generated as a base map, and the RWH structures were overlapped at the top. Depending on the degree of hazard, this method produced three distinct cases. The installation of the proposed RWH structures was prioritized. The most suitable structures for water harvesting during flash floods were identified.

RESULTS OF THE RESEARCH

The results are separated into three cases according to the flash flood hazard degree.

RWH structures located in low-hazard areas for flash floods

The low-hazard area for flash floods represents 19% of the study area [26]. It is found that two check dams and two percolation tanks are in low-hazard areas. In addition, 2.13 km² (8.22 %) of the space of the on-ground percolation tanks and 0.11 km² (8.21 %) of the farm pond area are in low-hazard areas, see Fig. 5 (Table 1). These structures are the least suitable for water harvesting during flash floods. Therefore, the construction of these structures should be the last phase of the development of Wadi Watir.

² Strahler A.N. *Quantitative geomorphology. Geomorphology. Encyclopedia of Earth Science*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1968. DOI: 10.1007/3-540-31060-6_304

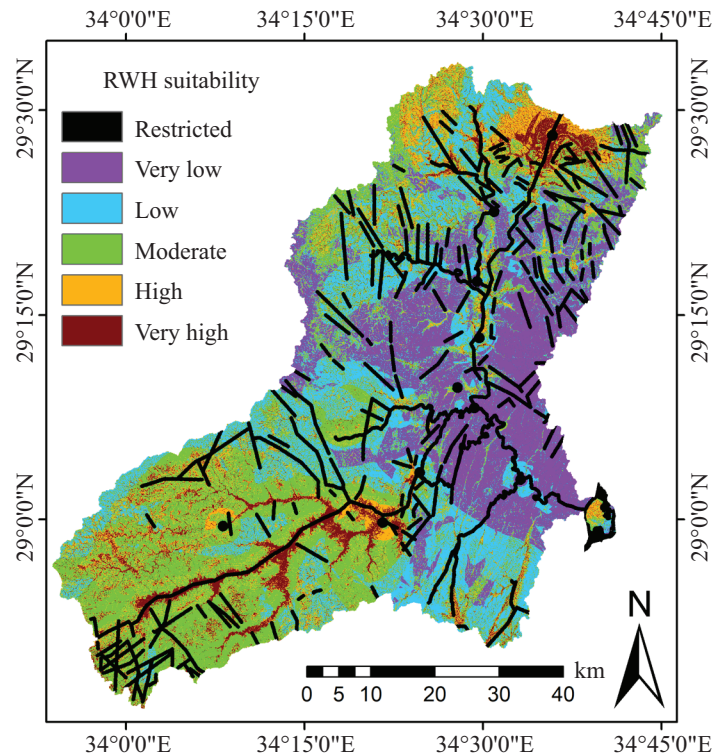


Fig. 2. The RWH suitability map. Modified after Mostafa et al. [17]

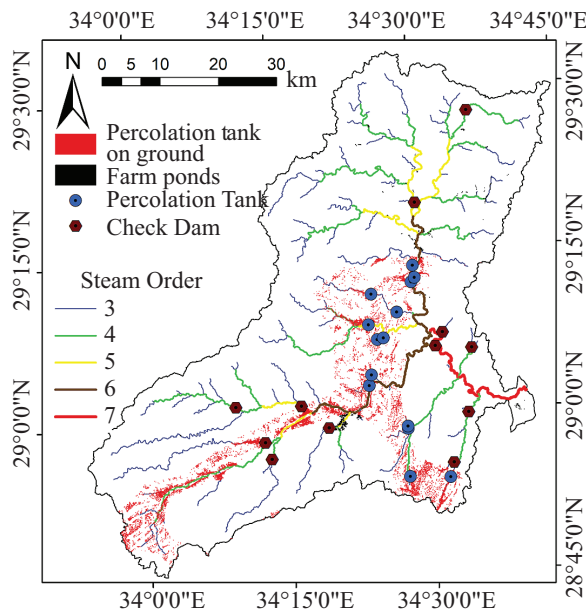


Fig. 3. The localization of RWH structures. After Mostafa et al. [17]

RWH structures located in moderate-hazard areas for flash floods

Mostafa [26] clarified that 44.2 % of the Wadi W atir watershed is moderately vulnerable to flash floods. As shown in Fig. 6, the moderate area for flash floods contains five check dams, seven percolation tanks, 12.62 km² (48.73 %) of space for the on-ground percolation tanks, and 0.75 km² (55.97 %) of farm pond area (Table 1). Approximately half of the proposed RWH structures are in moderate-hazard areas. In the event of a flash flood, the likelihood of these struc-

tures for water harvesting increases. The implementation of these structures should come as a second priority during the development of the research area.

RWH structures located in high-hazard areas for flash floods

The area with high hazard degree for flash floods accounts for 36.8 % of the watershed. Five check dams, five percolation tanks, 11.15 km² of the on-ground percolation tanks, and 0.48 km² of the area of the farm ponds are located in high hazard region for flash floods, as

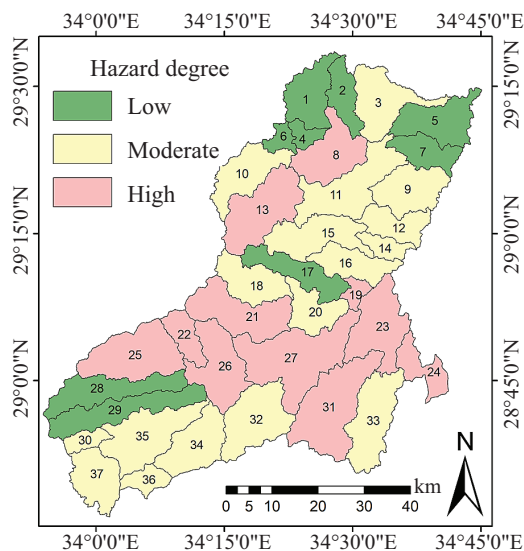


Fig. 4. The flash flood hazard map. Modified after Mostafa [26]

shown in Fig. 7 (Table 1). The RWH structures in this area are the most suitable for water harvesting during the event of a flash flood. The development of Wadi Watir watershed should start from this region.

CONCLUSION AND DISCUSSION

The current research studied the effect of flash flood hazard degree on the execution of the RWH structures for the Wadi Watir watershed (Sinai Peninsula, Egypt). Merging the RWH suitability and the flash flood hazard mapping in a GIS environment was an effective method and achieved the main goals of the research. The method identified the periodization of the study area’s development during flash floods. The development process of Wadi Watir was divided into three phases according to the hazard degree for flash floods as follows:

- phase I: the implementation of RWH structures that are located in high-hazard regions. This area

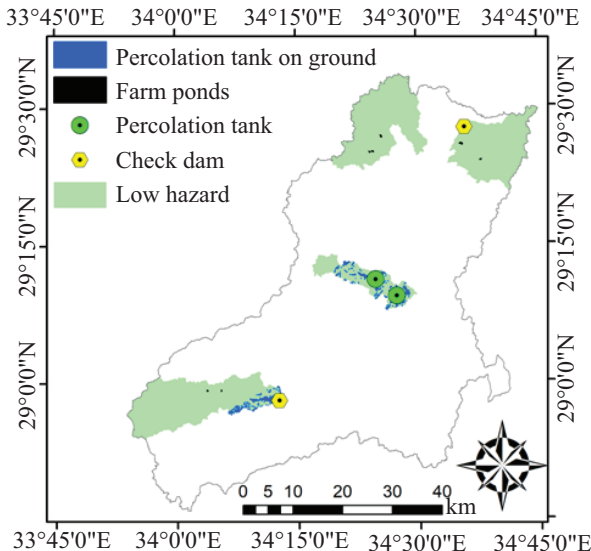


Fig. 5. The RWH structures in the low-hazard area

includes 5 percolation tanks, 5 check dams, 11.15 km² of the area of the on-ground percolation tanks, and 0.48 km² for farm ponds. These structures are optimal for harvesting the water in flash floods;

- phase II: the construction of structures in moderate-hazard areas. They are 7 percolation tanks, 5 check dams, 12.62 km² for the on-ground percolation tanks, and 0.75 km² for farm ponds;

- phase III: the installation of the structures in low-hazard regions, which involves two percolation tanks, two check dams, 2.13 km² for the on-ground percolation tanks, and 0.11 km² for farm ponds.

The findings of this study will help the decision makers arrange the development plan of Wadi Watir. The implementation of RWH systems has different environmental and socio-economic impacts, therefore, the consequences should be studied accurately. In addition, the construction of RWH strictures requires different detailed studies, such as field surveys.

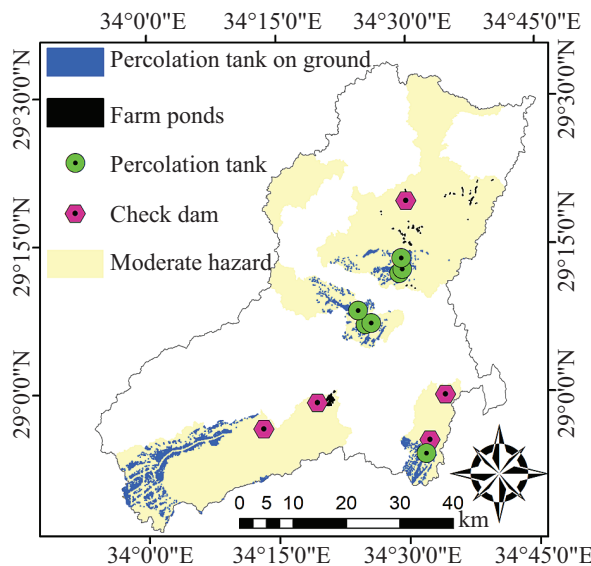


Fig. 6. The RWH structures in the moderate-hazard area

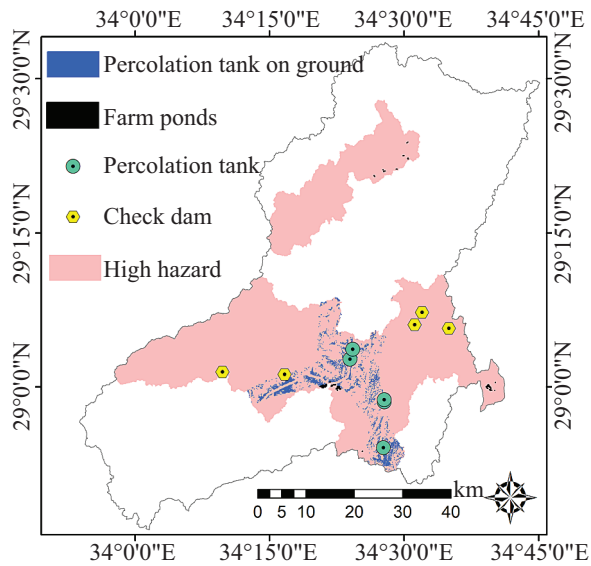


Fig. 7. The RWH structures in the high-hazard area

The distribution of RWH structures according to hazard degree

Hazard degree	Area division	On-ground Percolation tanks (25.9 km ²)	Farm ponds (1.34 km ²)	Percolation tanks (14)	Check dams (12)
Low	680.2 km ² (19 %)	2.13 km ² (8.22 %)	0.11 km ² (8.21 %)	2	2
Moderate	1582.4 km ² (44.2 %)	12.62 km ² (48.73 %)	0.75 km ² (55.97 %)	7	5
High	1317.4 km ² (36.8 %)	11.15 km ² (43.05 %)	0.48 km ² (35.82 %)	5	5

REFERENCES

1. Elhassnaoui I., Moumen Z., Tvaronavičienė M., Ouarani M., Ben-Daoud M., Serrari I. et al. Management of water scarcity in arid areas: a case study (Ziz Watershed). *Insights into Regional Development*. 2021; 3(1):80-103. DOI: 10.9770/IRD.2021.3.1(5)

2. Melese T., Belay T. Groundwater potential zone mapping using analytical hierarchy process and GIS in Muga Watershed, Abay Basin, Ethiopia. *Global Challenges*. 2022; 6(1):2100068. DOI: 10.1002/gch2.202100068

3. Dadamouny M.A., Schnittler M. Trends of climate with rapid change in Sinai, Egypt. *Journal of Water and Climate Change*. 2016; 7(2):393-414. DOI: 10.2166/wcc.2015.215

4. Matomela N., Li T., Ikhumhen H. Siting of rainwater harvesting potential sites in arid or semi-arid watersheds using GIS-based techniques. *Environmental Processes*. 2020; 7(2):631-652. DOI: 10.1007/s40710-020-00434-7

5. Filho W.L., Totin E., Franke J.A., Andrew S.M., Abubakar I.R., Azadi H. et al. Understanding responses to climate-related water scarcity in Africa. *Science of the Total Environment*. 2022; 806:150420. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.150420

6. Abd-Elaty I., Shoshah H., Zelenáková M., Kushwaha N.L., El-Dean O.W. Forecasting of flash floods peak flow for environmental hazards and water harvesting in desert area of El-Qaa Plain, Sinai. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022; 19(10):6049. DOI: 10.3390/ijerph19106049

7. Akter A., Ahmed S. Rainwater harvesting potentials for a water-scarce city in Bangladesh. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers — Water Management*. 2021; 174(2):84-98. DOI: 10.1680/jwama.19.00030

8. Harka A.E., Roba N.T., Kassa A.K. Modelling rainfall runoff for identification of suitable water harvesting sites in Dawe River watershed, Wabe Shebelle River basin, Ethiopia. *Journal of Water and Land Development*. 2020; 47(X-XII):186-195. DOI: 10.24425/jwld.2020.135313

9. Elewa H.H., Zelenakova M., Nosair A.M. Integration of the analytical hierarchy process and GIS spatial distribution model to determine the possibility of runoff water harvesting in dry regions: Wadi Watir in Sinai as a case study. *Water*. 2021; 13(6):804. DOI: 10.3390/w13060804

10. Elsadek W.M., Ibrahim M.G., Mahmud W.E. Flash flood risk estimation of Wadi Qena Watershed, Egypt Using GIS based morphometric analysis. *Applied Environmental Research*. 2018; 36-45. DOI: 10.35762/AER.2018.40.1.4

11. Pathak S.D., Kulshrestha M. A framework for assessment of flood vulnerabilities — case of Narmada River Basin, India. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers — Water Management*. 2022; 175(5):217-232. DOI: 10.1680/jwama.20.00009

12. Farhan Y., Anaba O. Flash flood risk estimation of Wadi Yutum (Southern Jordan) Watershed Using GIS based morphometric analysis and remote sensing techniques. *Open Journal of Modern Hydrology*. 2016; 06(02):79-100. DOI: 10.4236/ojmh.2016.62008

13. Adham A., Sayl K.N., Abed R., Abdeladhim M.A., Wesseling J.G., Riksen M. et al. A GIS-based approach for identifying potential sites for harvesting rainwater in the Western Desert of Iraq. *International Soil and Water Conservation Research*. 2018; 6(4):297-304. DOI: 10.1016/j.iswcr.2018.07.003

14. Elboshy B., Alwetaishi M., Aly R.M.H., Zalhaf A.S. A suitability mapping for the PV solar farms in Egypt based on GIS-AHP to optimize multi-criteria feasibility. *Ain Shams Engineering Journal*. 2022; 13(3):101618. DOI: 10.1016/j.asej.2021.10.013

15. Campos A.F., Alava J., Sinichenko E.K., Gritsuk I.I. Influence of the El Niño phenomena on the climate change of the Ecuadorian coast. *RUDN Journal of Engineering Research*. 2018; 19(4):513-523. DOI: 10.22363/2312-8143-2018-19-4-513-523

16. Mansour M.M., Ibrahim M.G., Fujii M., Nasr M. Sustainable development goals (SDGs) associated with flash flood hazard mapping and management measures through morphometric evaluation. *Geocarto International*. 2022; 37(26):11116-11133. DOI: 10.1080/010106049.2022.2046868

17. 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 Management*. 2022; 313:114990. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.114990
18. Singh L.K., Jha M.K., Chowdary V.M. Multi-criteria analysis and GIS modeling for identifying prospective water harvesting and artificial recharge sites for sustainable water supply. *Journal of Cleaner Production*. 2017; 142:1436-1456. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.11.163
19. Elsadek W.M., Ibrahim M.G., Mahmud W.E., Kanae S. Developing an overall assessment map for flood hazard on large area watershed using multi-method approach: case study of Wadi Qena watershed, Egypt. *Natural Hazards*. 2019; 95(3):739-767. DOI: 10.1007/s11069-018-3517-3
20. Jha M.K., Chowdary V.M., Kulkarni Y., Mal B.C. Rainwater harvesting planning using geospatial techniques and multicriteria decision analysis. *Resources, Conservation and Recycling*. 2014; 83:96-111. DOI: 10.1016/j.resconrec.2013.12.003
21. Krois J., Schulte A. GIS-based multi-criteria evaluation to identify potential sites for soil and water conservation techniques in the Ronquillo watershed, northern Peru. *Applied Geography*. 2014; 51:131-142. DOI: 10.1016/j.apgeog.2014.04.006
22. Sarif M.O., Gupta R.D. Spatiotemporal mapping of Land Use/Land Cover dynamics using Remote Sensing and GIS approach: a case study of Prayagraj City, India (1988–2018). *Environment, Development and Sustainability*. 2022; 24(1):888-920. DOI: 10.1007/s10668-021-01475-0
23. Al Zayed I.S., Ribbe L., Al-Salhi A. Water harvesting and flashflood mitigation-Wadi Watier case study (South Sinai, Egypt). *International Journal of Water Resources and Arid Environments*. 2013; 2(2):102-109. URL: [https://www.pspiw.org/attachments/article/340/IJWRAE_2\(2\)102-109.pdf](https://www.pspiw.org/attachments/article/340/IJWRAE_2(2)102-109.pdf)
24. Cools J., Vanderkimpen P., El Afandi G., Abdelkhalek A., Fockede S., El Sammany M. et al. An early warning system for flash floods in hyper-arid Egypt. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2012; 12(2):443-457. DOI: 10.5194/nhess-12-443-2012
25. Abuzied S., Yuan M., Ibrahim S., Kaiser M., Saleem T. Geospatial risk assessment of flash floods in Nuweiba area, Egypt. *Journal of Arid Environments*. 2016; 133:54-72. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2016.06.004
26. Mostafa E. flash flood hazard mapping using multi-method approach: Case study Wadi Watir, Egypt. *Proceedings of ASU SciTech Forum, Barnaul, 2020*. AIP publishing, USA, 2023.
27. Mostafa E. Challenges of water resources management in Egypt and solution opportunities. *Construction: Science and Education*. 2020; 11(1):1-14. DOI: 10.22227/2305-5502.2021.1.1 (rus.).
28. Sallam O.M. 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; 11(12):1462-1480. DOI: 10.4236/jwarp.2019.1112085
29. Eissa M.A., Thomas J.M., Pohll G., Shouakar-Stash O., Hershey R.L., Dawoud M. Groundwater recharge and salinization in the arid coastal plain aquifer of the Wadi Watir delta, Sinai, Egypt. *Applied Geochemistry*. 2016; 71:48-62. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2016.05.017
30. Allam A., Helal E., Mansour M. Retarding contaminant migration through porous media using inclined barrier walls. *Journal of Hydrology and Hydro-mechanics*. 2019; 67(4):339-348. DOI: 10.2478/johh-2019-0018
31. Helal E., Sobeih M., Ezz El-din M. Effect of floating bridges on open channels' flow and bed morphology. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 2018; 144(9). DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001331

Received December 17, 2022.

Adopted in revised form on April 25, 2023.

Approved for publication on April 25, 2023.

BIONOTES: **Mostafa Ezzeldin** — postgraduate student of the Construction Department of the Engineering Academy; **Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN)**; 3 Ordzhonikidze st., Moscow, 115419, Russian Federation; Assistant Lecturer of the Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering; **Menoufia University**; 32511, Egypt, Shibin-el-Kom; ResearcherID: HCI-3277-2022, Scopus: 57202866983, ORCID: 0000-0003-0332-0424; 1042195003@pfur.ru;

Evgeny K. Sinichenko — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Construction Department of the Academy of Engineering; **Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN)**; 3 Ordzhonikidze st., Moscow, 115419, Russian Federation; SPIN-code: 2900-7009, ResearcherID: AAB-3676-2020, Scopus: 6506801225, ORCID: 0000-0002-9159-1218; sinichenko-ek@rudn.ru;

Ilya I. Gritsuk — Associate professor of the Construction Department of the Academy of Engineering; **Peoples' Friendship University of Russia (RUDN)**; 3 Ordzhonikidze st., Moscow, 115419, Russian Federation; **Water Prob-**

lems Institute of the Russian Academy of Sciences (WPI RAS); 3 Gubkina st., Moscow, 119333, Russian Federation; **Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI);** 64 Leningradsky prospekt, Moscow, 125319, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-5671-7620, Scopus: 17343469800; gritsuk-ii@rudn.ru.

Contribution of the authors:

Mostafa Ezzeldin — conceptualization, methodology, resources, data curation, software, formal analysis, writing original draft.

Evgeny K. Sinichenko — conceptualization, writing–review & editing, supervision.

Ilya I. Gritsuk — conceptualization, writing–review & editing.

Authors declare absence of the conflict of interests.