ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗДАНИЙ. ПРОБЛЕМЫ ЖКК. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ.

УДК 556.18+626/627(620)

DOI: 10.22227/2305-5502.2021.1.1

Управление водными ресурсами Египта: проблемы и способы решения

Мостафа Еззелдин^{1,2}

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

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Во всем мире, в том числе в Египте, вопросами водных ресурсов занимаются как научные работники, так и органы власти, так происходит из-за дефицита водных ресурсов и роста потребности в воде. На протяжении двадцати лет в Египте не хватает воды. Задача настоящей статьи — выявить основные проблемы, связанные с управлением водными ресурсами в Египте, а также определить с основными способами их решения, выявить эффективные способы охраны водного фонда Египта.

Материалы и методы. Автор осуществил комплексный анализ на основе глубокого понимания произведенных исследований и имеющихся материалов.

Результаты. В результате проведенного исследования установлено, что строительство плотины великого возрождения Эфиопии (Grand Ethiopian Renaissance Dam), орошение сельскохозяйственных земель и серьезные потери воды, испарение воды, незначительное количество дождей, рост численности населения и отсутствие необходимой информации представляют собой наиболее важные проблемы.

Выводы. Выявленные проблемы подлежат устранению путем проведения определенных мероприятий. Альтернативные источники водных ресурсов могут внести существенный вклад в сокращение дефицита воды. Землепользование на основе оптимизированного моделирования и географических информационных систем (ГИС) представляет собой эффективный комплексный способ управления водными ресурсами, который пока что мало применяется на территории Египта, но мог бы использоваться на территории разных регионов страны.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: проблема, Египет, валовые внутренние расходы на НИОКР, ГИС, распределенное землепользование, Нил, управление водными ресурсами, дефицит воды

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мостафа Еззелдин. Управление водными ресурсами Египта: проблемы и способы решения // Строительство: наука и образование. 2021. Т. 11. Вып. 1. Ст. 1. URL: <http://nso-journal.ru> DOI: 10.22227/2305-5502.2021.1.1

Challenges of water resources management in Egypt and solution opportunities

Mostafa Ezzeldin^{1,2}

¹ Peoples' Friendship University of Russia (RUDN); Moscow, Russian Federation;

² Menoufia University; Shibin-el-Kom, Egypt

ABSTRACT

Introduction. Water resources management extracts the focus of researchers and authorities all over the world. This is due to water scarcity and increasing water needs. Egypt is one of these countries. Egypt has been suffering from water shortage for 20 years. This paper aims to clarify the main challenges facing water resources management in Egypt and possible opportunities to meet them. Find effective techniques for the conservation of water resources in Egypt.

Materials and methods. Comprehensive analysis and deep understanding of previous studies and materials was applied.

Results. It was found that the construction of the Grand Ethiopian Renaissance Dam, irrigation of cultivated land and high losses, high evaporation rates and low rainfall, increasing population and the lack of information are the main challenges.

Conclusions. Challenges can be eliminated through the execution of specific procedures. Water resources alternatives contribute significantly to mitigating water scarcity. Land use allocation based on optimization modeling and GIS is an effective technique for integrated water resources management. This method has not been addressed in Egypt much and can be applied to various zones.

KEYWORDS: challenge, Egypt, GERD, GIS, land use allocation, Nile, water resources management, water scarcity

FOR CITATION: Mostafa Ezzeldin. Challenges of water resources management in Egypt and solution opportunities. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2021; 11(1):1. URL: <http://nso-journal.ru> DOI: 10.22227/2305-5502.2021.1.1 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Управление водными ресурсами представляет собой наиболее значимую область исследований во всем мире из-за дефицита водных ресурсов и роста потребности в воде во многих странах и государствах. Существует мнение, что в будущем водные ресурсы станут основной причиной войн, поэтому вопросами управления водными ресурсами занимаются как исследователи, так и правительства разных стран мира. Их задача — решить проблему дефицита воды, а также разработать планы и стратегии, с помощью которых руководители смогут обеспечить защиту водных ресурсов. При этом управление водными ресурсами усложняется в результате непоследовательной постановки задач, урбанизации и стихийных бедствий, особенно на засушливых территориях [1]. Кроме того, основной проблемой, которую предстоит решить тем, кто будет заниматься планированием соответствующих мероприятий и принятием решений во многих развивающихся странах, является противоречие между защитой окружающей среды и вопросами экономического характера^{1,2,3}.

По итогам наблюдений выяснилось, что многие территории, особенно Ближний Восток и Северная Африка, находятся на пороге кризиса водоснабжения, поскольку там объем воды на душу населения является минимальным в мире и составляет 247 м³ в год, притом, что в США этот показатель составляет 18 742 м³, а в Латинской Америке — 23 103 м³. В двадцати пяти самых густонаселенных странах мира отсутствует доступ к чистой питьевой воде, при этом, девятнадцать из них находятся в Африке⁴.

Египет является одной из стран Ближнего Востока и Африки, которая страдает от засухи, по-

скольку интенсивность осадков на его территории составляет менее 200 мм в год на прибрежных территориях [2]. Египет страдает от дефицита воды, поскольку объем воды на душу населения сократился с 1893 м³ в 1959 г. до 950 м³ в 2000 г., а также прогнозируется его дальнейшее сокращение до 536 м³ к 2025^{5, 6, 7, 8}. Суммарный объем водных ресурсов Египта составляет в настоящее время 66 млрд м³, из которых 55,5 млрд м³ получают за счет воды реки Нил, 1,6 млрд м³ — за счет осадков на северном побережье и Синайском полуострове, 2,4 млрд м³ — за счет подземных вод глубокого залегания и невозобновляемых подземных вод, а 6,5 млрд — за счет мелкозалегающих подземных вод, притом, что суммарная годовая потребность в воде составляет 79,5 млрд кубометров⁹. Разница между объемом спроса на воду и имеющимися водными ресурсами составляет 13,5 млрд м³, дефицит воды покрывается за счет повторного использования очищенных сточных вод [3]. Потребность в воде растет с течением времени в результате роста численности населения, уровня благосостояния, роста спроса на еду, расширения и обновления промышленности¹⁰.

Уникальность Египта состоит в том, что основные водные ресурсы страны ограничены водами реки Нил, ливневыми паводками, низкой интенсивностью дождей и малым количеством подземных вод на территории западной пустыни, в Синае и в устье реки Нил [4]. Свыше 96 % потребности в пресной воде покрывается за счет ресурсов самой длинной в мире реки Нил, которая обеспечивает водой одиннадцать стран и берет начало за пределами Египта¹¹ [5].

¹ Chang N.B., Wen C.G., Wu S.L. Optimal management of environmental and land resources in a reservoir watershed by multi-objective programming // Journal of Environmental Management. 1995. Vol. 44. Pp. 144–161.

² Gezelius S.S., Refsgaard K. Barriers to rational decision-making in environmental planning // Journal of Land Use Policy. 2007. Vol. 24. Pp. 338–348.

³ Nikkami D., Shabani M., Ahmadi H. Land use scenarios and optimization in a watershed // Journal of Applied Sciences. 2009. Vol. 9. No. 2. Pp. 287–297.

⁴ Diana R.K. Water sharing in the Nile River Valley // Project GNV011: using GIS/remote sensing for the sustainable use of natural resources. Geneva, 2000. Pp. 1–85.

⁵ United Nations Common Country Assessment. Embracing the spirit of millennium declaration. United Nations–Egypt. Cairo, Egypt, 2005. URL: <http://www.undp.org/content/dam/egypt/docs/LegalFramework/Common%20Country%20Assesment%202005%20Egypt.pdf>

⁶ Nino M. Social and environmental constraints to the irrigation water conservation measures in Egypt : MSc Thesis, Lund University. Sweden, 2003.

⁷ Ministry of Water Resources and Irrigation. Adopted measures to trace major challenges in the Egyptian water sector // A report submitted at the request of World Water Council for 3rd World Water Forum. Cairo, Egypt, 2002. Pp. 1–39.

⁸ Abdelhai M. Rural non-farm employment // Workshop Current and emerging issues for economic analysis and policy research, CUREMIS II NENA. FAO. INP, 2002.

⁹ Water Scarcity in Egypt // Arab Republic of Egypt, Ministry of Water Resources and Irrigation. February 2014. URL: https://globalhealthnewswire.com/wp-content/uploads/2016/09/Egypt%20Water%20Resources%20Paper_2014.pdf

¹⁰ Wagdy A. Progress in water resources management: Egypt // Proceedings of the 1st Technical Meeting of Muslim Water Researchers Cooperation, MUWAREC. Malaysia, 2008. Pp. 1–13.

¹¹ Abdin A.E., Gaafar I. Rational water use in Egypt, technological perspectives for rational use of water resources in the Mediterranean region // Options Méditerranéennes. 2009. Vol. 88. Pp. 11–27.

Исторически сложилось так, что права Египта на воды Нила были установлены соглашением между Египтом и Великобританией, которое было заключено от имени Судана в 1929 г. [6]. В 1959 г., по завершении строительства Асуанской плотины, между Египтом и Суданом было подписано соглашение об оптимальном использовании вод Нила. Это соглашение стало неотъемлемой частью соглашения 1929 года¹². На основании заключенного соглашения Египет получал 55,5 млрд м³ воды в год, а Судан — 18,5 м³, соответственно. Около 86 % воды поступало за счет воды рек Голубой Нил и Атбара (притока реки Эфиопия) [4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При написании настоящей статьи был осуществлен комплексный анализ для глубокого понимания написанных ранее работ и использования имеющихся материалов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Настоящая статья разделена на три основные части:

1. Основные проблемы управления водными ресурсами Египта и возможные способы их решения

Управление водными ресурсами Египта сопровождается многочисленными проблемами, решение которых требует применения следующих мер:

Плотина великого возрождения Эфиопии

Можно сказать, что основной проблемой водных ресурсов Египта является строительство плотины великого возрождения Эфиопии (рис. 1).

Строительство плотины великого возрождения Эфиопии на реке Голубой Нил началось в 2011 г. по инициативе правительства Эфиопии на территории Кубы. Плотина будет располагаться в 60 км от границы с Суданом и 750 км от столицы Эфиопии Аддис-Абебы. Площадь поверхности водохранилища предположительно составит 1874 км², уровень воды будет располагаться на высоте 640 м над уровнем моря, а количество потребляемой воды составит 74 млрд кубометров¹³.

Строительство плотины великого возрождения Эфиопии сопряжено со следующими рисками: сокращение срока наполнения водохранилища, увеличение емкости водохранилища, прорыв плотины в результате ошибки, допущенной при ее проектировании или строительстве, а также стихийные бедствия, в результате которых объем воды Нила, причитающийся Египту, будет сокращен, что приведет к сокращению выработки электроэнер-

Рис. 1. Плотина великого возрождения Эфиопии

гии Асуанской плотинной и отразится на качестве воды в реке Нил, приведет к сокращению площади пахотных земель, подземных вод, вызовет климатические изменения, отразится на навигации и рыбной ловле в водах Нила, скажется на состоянии здоровья населения и в будущем может привести к возникновению конфликта между Египтом и Эфиопией [7–9].

Эфиопия вправе развиваться без ущерба для других стран. Данный вопрос можно решить путем заключения договора между двумя странами, на основании которого правительство Эфиопии будет вправе строить плотину, не сокращая причитающийся Египту объем воды в Ниле [10]. Такое соглашение поможет предотвратить потенциальный вооруженный конфликт между двумя странами, который может иметь негативные последствия для всего региона. Известно, что переговоры между Египтом и Эфиопией откладывались уже несколько раз, при этом не были достигнуты никакие значимые результаты. Последний раунд переговоров проводился в Вашингтоне в феврале 2020 г., но

¹² Hvidt M. Water resource planning in Egypt. The Middle Eastern Environment: Selected papers of the 1995 // Conference of the British Society of Middle Eastern Studies. Cambridge, 1995. Pp. 90–100.

¹³ Cairo University. Implications of bridging the Ethiopian Renaissance on Egypt: a conference organized by Nile Basin Group. Cairo University, Cairo, Egypt, 16 April 2013.

правительство Эфиопии заявило, что не признает его результаты¹⁴.

Рост численности населения

По данным ООН, в 1980 г. население Египта составляло 43,4 млн человек, в 2000 г. — 68,8 млн, а в 2019 г. — 100,4 млн. К 2050 г. оно вырастет до 160 млн человек¹⁵. Рост численности населения означает рост спроса на воду, которая необходима для удовлетворения разных потребностей, в частности, для выращивания сельскохозяйственных культур и удовлетворения хозяйственно-бытовых нужд. Недостаточная информированность населения только усугубляет проблему, особенно в развивающихся странах.

Программы информирования населения исключительно важны для распространения среди общественности информации о важности водоохраны и применения новых технологий использования воды для бытовых нужд и орошения сельскохозяйственных земель. Иными словами, речь идет о распространении культуры экономного потребления воды и ее пользе для населения [10]. Население Египта, которое, согласно распространенному мнению, только усугубляет проблему воды, может самостоятельно ее решить, если предоставить надлежащие разъяснения и призвать действовать должным образом.

Орошение сельскохозяйственных земель и существенные потери воды

Большая часть воды реки Нил расходуется на орошение. Около 85 % воды, поступающей из водохранилища Асуанской плотины, расходуется на орошение, а оставшиеся 15 % — на другие цели¹⁶. Рост численности населения и качества жизни привели к росту спроса на продукты питания, что осложнило ситуацию с количеством воды, необходимой для сельскохозяйственных нужд [10]. Например, для рисовых полей в дельте Нила требуется около 11 млрд м³ воды [11]. Кроме того, потеря воды происходит в результате поверхностного испарения, утечек из каналов и канав, впитывания воды в сельскохозяйственный грунт и ее потребления водорослями [3].

Использование оросительных систем с низким уровнем потребления воды, в том числе систем капельного полива и спринклерных систем, удаление водорослей, облицовка каналов и канав, минимизация испарений путем укрывания определенных участков оросительных каналов, уравнивание дневных и ночных оросительных мероприятий, посте-

пенное сокращение рисовых полей, замена сахарного тростника сахарной свеклой, использование высокопродуктивных сельскохозяйственных культур с низкой потребностью в воде — все эти мероприятия помогут эффективно решить проблемы этой жизненно-важной отрасли [4].

Значительное испарение воды и малое количество осадков

Египет расположен в засушливой местности, где суммарное среднегодовое количество осадков составляет менее 200 мм вдоль северного побережья, а на территории Верхнего Египта количество осадков стремится к нулю¹⁷ (рис. 2). Кроме того, для Египта характерна высокая испаряемость воды, которая продолжает расти из-за климатических изменений. Испаряемость достигает максимальных показателей на территории водохранилища у Асуанской плотины, где среднегодовой объем испарений составляет 15 млрд м³ воды [2, 12–14] (рис. 3).

Как уже говорилось, строительство плотин в определенных точках, необходимое для наполнения Асуанского водохранилища, может сэкономить до трех миллиардов кубометров воды (5,5 % причитающейся Египту воды реки Нил) [2]. В результате исследований выяснилось, что удаление отложений со дна Асуанского водохранилища сократит испарения на 6,5 % [15]. Несмотря на это, необходимо провести дополнительные исследования для достоверного подтверждения предлагаемых решений. Установка конденсаторов воды в местах испарений на Асуанском водохранилище, вдоль побережья и на территории сельскохозяйственных угодий может сократить испарение воды⁶. Странам, расположенным на территории бассейна реки Нил, следует заняться разработкой планов и стратегий сокращения последствий прогнозируемых климатических изменений, которые могут отрицательно отразиться на водных ресурсах в бассейне Нила [16].

Отсутствие необходимой информации

Египет страдает от недостатка информации в разных областях жизни, особенно в части водных ресурсов. Единственная информация, предоставленная в числовом выражении — это причитающаяся Египту доля воды реки Нил. Вся прочая информация, выраженная в числах, является неточной, ее объем ограничен, измерения проводятся с большими интервалами, и не все параметры подвергаются

¹⁴ U.S. president Donald Trump addresses the national association of counties // Legislative Conference in Washington. U.S., 3 March 2020. REUTERS/Carlos Barria. URL: <https://www.reuters.com/article/us-egypt-ethiopia-trump/trump-tells-sisi-u-s-to-pursue-efforts-for-deal-on-ethiopia-dam-egypt-presidency-idUSKBN20Q2J4>

¹⁵ United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Dynamics, World Population Prospects. 2019. URL: <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population>

¹⁶ Abdeldayem S. Water quality issues in Egypt // Italian–Egyptian Study Days on the Environment. Cairo, Egypt, 9–20 October 1994. Pp. 81–92.

¹⁷ Abuzeid M.A. Water resources assessment for Egypt // International Journal of Water Resources Development. 2007. Vol. 8. No. 2. Pp. 76–86.

Рис. 2. Карта среднегодовых осадков на территории Египта

Рис. 3. Водохранилище у Асуанской плотины, абсолютная высота расположения которого над уровнем моря составляет 181,56 м, с учетом основных прерывающихся потоков

измерению. Например, отсутствует информация об объеме промышленного и домашнего водопользования, а также о водопотерях при доставке воды в разные регионы. Все это препятствует успешному управлению водными ресурсами Египта [6].

Процесс комплексного управления водными ресурсами требует эффективного управления с использованием информационных средств и баз данных⁶, поэтому правительственным органам и научно-исследовательским институтам необходимо разработать и представить научному сообществу мощные и максимально исчерпывающие базы данных. Работа по передаче информации и результатов прикладных исследований должна быть организована для изучения результатов местных исследований источников воды и обеспечения роста эффективности программы консалтинговых услуг, предусмотренной Региональным центром обучения и исследования воды («Центр»)¹⁸.

2. Альтернативные водные ресурсы

Египту необходимо изыскать альтернативные водные ресурсы. Данной тематике посвящены всевозможные исследования, на основании которых выдвинуты следующие предложения:

Проекты Верхнего Нила

Запланирована реализация трех масштабных проектов на Верхнем Ниле. Задача проектов — увеличить полноводность реки путем сокращения водопотерь на территории болотистой местности в южном Судане. Среди таких проектов — Канал Жонглей (Jonglei Canal) (этапы I и II), работы в болотистой местности Бахр Эль-Газаль и у реки Собат, где расположены болота Машар (Machar Marshes). В результате таких мероприятий объем воды в реке Нил увеличится на 18 млрд м³ в год. Этим объемом воды Египет и Судан смогут воспользоваться на паритетных началах [17].

Еще одно предложение заключается в объединении бассейнов рек Конго и Нил. Река Конго — самая полноводная река в Африке, ежегодно свыше тысячи миллиардов кубометров ее вод попадает в океан. Реализация данного проекта сопряжена с рядом сложностей, среди которых — недостаток информации, огромная стоимость реализации, экологические последствия и необходимость проведения дополнительных исследований.

Бурение колодцев

В Египте есть два источника подземных вод. Первый представляет собой глубокий водоносный слой в пустыне, который в большинстве случаев является невозобновляемым источником воды. В настоящее время объем добычи подземных вод составляет от 1,5 до 1,85 млрд м³ в год, при этом, его можно увеличить до 3,5 млрд м³. Второй ис-

точник — это подземные воды Нила, которые располагаются под сельскохозяйственными угодьями в дельте и долине Нила. Эти воды являются мелкими, они представляют собой возобновляемый источник воды более низкого качества по сравнению с подземными водами пустыни, ежегодный объем их добычи составляет 3 млрд кубометров⁸.

Опреснение морской воды

Опреснение морской воды — возможный вариант получения воды для сельскохозяйственных и бытовых нужд. Этот вариант является исключительно дорогостоящим, поскольку опреснение 1 м³ морской воды стоит около 5 египетских фунтов.

Повторное использование очищенных сточных и дренажных вод

Запланированный объем использования очищенных дренажных вод для целей орошения составляет 8,3 млрд м³ в год к 2017 г. Объем повторного использования бытовых и промышленных вод должен достичь 1,5 млрд м³ к 2025 г. Необходимо провести дополнительные исследования с целью обеспечения простой и дешевой технологии опреснения воды⁸.

3. Распределенное землепользование

В Египте на протяжении длительного времени уделяется достаточно внимания вопросам управления водными ресурсами, при этом, одним из важных методов водоохраны является распределенное землепользование, которое состоит в моделировании оптимизации землепользования и использовании географических информационных систем (ГИС), которые уже успешно применяются во многих регионах. Этот метод мало используется в Египте, хотя и может применяться в разных регионах.

Землепользование неотделимо от проблемы водных ресурсов. Одно из важнейших решений проблемы воды — оптимально использовать каждый участок земли, поскольку отсутствие единой системы планирования землепользования приведет к чрезмерному потреблению водных ресурсов. Кроме того, землепользование влияет на экологию, окружающую среду, а также имеет социально-экономические последствия, например, стихийное развитие городов и дефицит экологической и общественной инфраструктуры.

Как правило, исследователи реализуют проекты по управлению землепользованием в пределах определенных территорий, которые обладают определенными характеристиками в своих границах. В центр внимания обычно попадают городские территории, сельскохозяйственные земли и леса. Применяются всевозможные подходы, в том числе оценка пригодности земель, прогнозирование изменения назначения земель, оценка

¹⁸ Alnaggar D. Water resources management and policies for Egypt // Workshop on Policies and Strategies Options for Water Management in Islamic Countries. Tehran, Iran, December 2003.

стоимости земель и распределение земель по видам землепользования¹⁹.

Комплексный и последовательный анализ необходим для обеспечения оптимального использования воды и земель. По мнению многих исследователей, ГИС-технологии представляют собой мощный инструмент комплексного землепользования, а управление землепользованием водосборов представляет собой многостороннюю мультидисциплинарную проблему. Таким образом, для получения наилучшего результата необходимо сделать так, чтобы объединенные аналитические ГИС-модели представляли интерес для тех, кто занимается планированием территорий и управляет ресурсами. Модель оптимизации и ГИС-система распределения землепользованием станет основой комплексной системы распределения земель [18].

Модель оптимизации

Можно сформулировать общую проблему разработки программного обеспечения: это наличие множества задач и неопределенных параметров. Необходимо произвести распределение вероятностей для устранения неопределенностей системы и ее взаимосвязей.

Данный метод служит для обеспечения эффективного расчета, выявления, оценки и распространения информации о разных типах неопределенностей и связанных с ними рисках.

С помощью различных сценариев можно разработать модель оптимизации, способную учитывать разные экономические, экологические и физические условия. Что касается экологических и экономических компромиссов, необходимо, чтобы указанные сценарии коррелировались с разными объективными функциями, связанными с принимаемыми решениями.

ГИС-модель распределения земель

На вопрос «что делать?» можно дать ответ с помощью модели оптимизации, которая применяется для разных видов деятельности человека с учетом единиц времени и пространства. Применимые

в процессе оптимизационного моделирования единицы пространства являются недостаточно четкими и не позволяют представителям властей и проектировщикам принимать решения для обеспечения оптимальных изменений в сфере землепользования.

Таким образом, ГИС-модель распределения земель применяется для выбора оптимальной стратегии реализации результатов, полученных по итогам применения модели, поскольку ГИС-модель отвечает на вопрос «как я могу это сделать?»²⁰.

ВЫВОДЫ

Проблема управления водными ресурсами Египта является сложной, поскольку на нее оказывают воздействие многочисленные факторы. С 2000 года Египет испытывает дефицит воды, который нарастает с каждым годом в силу множества причин, среди которых рост численности населения страны и повышение уровня жизни. Управление водными ресурсами Египта сопряжено с многочисленными проблемами. Основная из них — это строительство великой плотины возрождения Эфиопии. Кроме того, следует упомянуть орошение сельскохозяйственных земель и большие водопотери, рост численности населения, отсутствие необходимой информации, значительное испарение воды и малое количество осадков. Согласно многочисленным исследованиям, все указанные проблемы можно решить путем применения необходимых мер, среди которых особое место занимают альтернативные водные ресурсы. Проекты Верхнего Нила, бурение колодцев на воду, опреснение морской воды, а также использование очищенных сточных и дренажных вод представляют собой варианты решения проблемы. Для обеспечения охраны водных ресурсов используются разные технологии, среди которых — распределенное землепользование на основе оптимизационного моделирования и ГИС-систем. Такие технологии успешно используются в других регионах. Этот метод можно использовать и в Египте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yasir S.A., Alessandra C., Yasir A.M., Nigel G.W., Roelvink J.A. Water resource assessment along the Blue Nile River, north Africa with a one-dimensional model // *Proceedings of the Institution of Civil Engineers — Water Management*. 2014. Vol. 167. No. 7. Pp. 394–413. DOI: 10.1680/wama.13.00020
2. Emad E., Dalia F., Brigitte U. Modeling high Aswan dam reservoir morphology using remote sensing

to reduce evaporation // *International Journal of Geosciences*. 2014. Vol. 5. No. 2. Pp. 156–169. DOI: 10.4236/ijg.2014.52017

3. Mohieeldin M.O., Ahmed M.A. Water management in Egypt for facing the future challenges // *Journal of Advanced Research*. 2016. Vol. 7. Pp. 403–412. DOI: 10.1016%2Fj.jare.2016.02.005

¹⁹ Yong L.A., Xiaojian L., Xiaosheng Q.B., Huaicheng G., Yajuan Y.A., Jinfeng W.A., Guozhu M. An integrated GIS-based analysis system for land use management of lake areas in urban fringe // *Landscape and Urban Planning*. 2007. Vol. 82. No. 4. Pp. 233–246.

²⁰ Xinhao W.A., Sheng Y.A., Huangb G.H. Land allocation based on integrated GIS-optimization modeling at a watershed level // *Landscape and Urban Planning*. 2004. Vol. 66. No. 2. Pp. 61–74.

4. Abdelhaleem F., Helal E. Impacts of grand Ethiopian Renaissance Dam on different water usages in Upper Egypt // *British Journal of Applied Science & Technology*. 2015. Vol. 8. No. 5. Pp. 461–483. DOI: 10.9734/BJAST/2015/17252
5. Elsayed M.R., Omima S.S., Maha R.F., Gamal M.A. Integrated water resource management in Sharkia Governorate, East Nile Delta using numerical evaluation of water management strategies // *Alexandria Engineering Journal*. 2019. Vol. 58. No. 2. Pp. 757–771. DOI: 10.1016/j.aej.2019.06.006
6. Allam M.N., Allam G.I. Water resources in Egypt: future challenges and opportunities // *Water International Journal*. 2007. Vol. 32. No. 2. Pp. 205–218. DOI: 10.1080/02508060708692201
7. Walaa Y.E., Ahmed H.E. Managing risks of the Grand Ethiopian Renaissance Dam on Egypt // *Ain-Shams Engineering Journal*. 2018. Vol. 9. No. 4. Pp. 2383–2388. DOI: 10.1016/j.asej.2017.06.004
8. Hamdy E., Slobodan D., Dragan A.S., Ioannis T. The Nile Water-Food-Energy Nexus under Uncertainty: Impacts of the Grand Ethiopian Renaissance Dam // *Journal of Water Resources Planning and Management*. 2020. Vol. 146. No. 11. DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001285
9. Prakrut K., Wenzhao L., Hesham E., Venkataraman L., Thomas P., Daniele S. et al. An assessment of the filling process of the Grand Ethiopian Renaissance Dam and its impact on the Downstream Countries // *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13. No. 4. P. 711. DOI: 10.3390/rs13040711
10. Randa E. Water resources management: alarming crisis for Egypt // *Journal of Management and Sustainability*. 2014. Vol. 4. No. 3. DOI: 10.5539/jms.v4n3p108
11. Harby M., Naoya F. Water saving scenarios for effective irrigation management in Egyptian rice cultivation // *Ecological Engineering*. 2014. Vol. 70. Pp. 11–15. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2014.04.005
12. Abdrabbo M.A., Farag A.A., El-Desokey W.M.S. Implementing of RCPs Scenarios for the Prediction of Evapotranspiration in Egypt // *International Journal of Plant & Soil Science*. 2015. Vol. 6. No. 1. Pp. 50–63. DOI: 10.9734/IJPSS/2015/12721
13. Elshemy M., Khadr M. Hydrodynamic impacts of Egyptian Coastal Lakes due to climate change — example Manzala Lake // *Eighteenth International Water Technology Conference, IWTC18*. Sharm ElSheikh, Egypt, 12–14 March 2015.
14. Abdelshafy H.I., Elsayharty A.A., Regelsberger M., Platzer C. Rainwater issue in Egypt: quantity, climatic effect and future overlook // *Journal of Mediterranean Marine Science*. 2010. Vol. 11. No. 2. Pp. 245–257. DOI: 10.12681/mms.75
15. Emad E., Brigitte U., Bernd E., Dalia F. Mitigating the impact of climate change by reducing evaporation losses: sediment removal from the High Aswan Dam reservoir // *American Journal of Climate Change*. 2017. Vol. 6. No. 2. Pp. 230–246. DOI: 10.4236/ajcc.2017.62012
16. Hamimi Z., El-Barkooky A., Frías J.M., Fritz H., El-Rahman Y.A. The geology of Egypt // *Regional Geology Reviews*. 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-15265-9
17. Zaghloul A.S., Elsayed M., Elzawahry A. Impact of Upper Nile projects on the hydraulic performance of the White Nile and Jebel Aulia Dam operation // *Twentieth International Water Technology Conference, IWTC20*. Hurghada, Egypt, 18–20 May 2017. Pp. 549–560. DOI: <http://iwtc.info/wp-content/uploads/2017/05/122.pdf>
18. Wael M.E., Mona G.I., Wael E.M. Flash flood risk estimation of Wadi Qena Watershed, Egypt Using GIS Based Morphometric Analysis // *Journal of Applied Environmental Research*. 2018. Vol. 40. No. 1. Pp. 36–45. DOI: 10.35762/AER.2018.40.1.4

Поступила в редакцию 25 ноября 2020 г.

Принята в доработанном виде 15 марта 2021 г.

Одобрена для публикации 15 марта 2021 г.

ОБ АВТОРЕ: **Мостафа Еззельдин** — аспирант кафедры строительства Инженерной академии; **Российский университет дружбы народов (РУДН)**; 115419, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3; ассистент преподавателя кафедры гражданского строительства, инженерный факультет; **Университет Менуффи**; Шибин-эль-Ком, 32511, Египет; ORCID: 0000-0003-0332-0424, Scopus: 57202866983; 1042195003@pfur.ru.

INTRODUCTION

Water resources management is one of the most substantial research areas around the world. This is due to the water scarcity and the increasing water demand that hits many countries and nations. Water resources are believed to be the main cause of future wars. Therefore, this field extracted the focus of researchers and

governments all over the world for solving water resources problems and for developing plans and strategies to help decision-makers protect these water resources. But the management of water resources is becoming more complicated due to the inconsistent objectives of stakeholders, urbanization and natural disasters, particularly in arid regions [1]. Besides, the main

challenge facing planners and decision-makers in many developing countries is the discrepancy between environmental protection and economic matters^{1,2,3}.

Observations emphasize that in many places particularly in the Middle East and North Africa, the world is heading towards a water crisis, where the water per capita is among the lowest in the world with a value 247 m³/year, while in North America 18,742 m³ and Latin America 23,103 m³. There are 25 countries in the world with the highest rates of populations without safe drinking water access, 19 of them are in Africa⁴.

Egypt is one of the Middle East and African countries, which is deemed extremely arid with rainfall rates of less than 200 mm/year within coastal areas [2]. Egypt is suffering from a water scarcity problem as the annual water per capita decreased from 1893 m³ in 1959 to 950 m³ in 2000 and is expected to reach 536 m³ by 2025^{5,6,7,8}. The total annual water resources in Egypt currently are 66 Billion Cubic Meters (BCM), which are represented in 55.5 BCM from the Nile River, 1.6 BCM from the precipitation on the Northern coast and Sinai, 2.4 BCM from the deep and non-renewable groundwater and 6.5 BCM from the shallow groundwater. While the total annual water needs for different purposes are 79.5 BCM⁹. The difference between the required and the available is 13.5 BCM and this gap is filled through the reuse of the recycled drainage water [3]. This water demand is growing over the years due to increased population, standards of living improvement, growing demand for food, and industry expansion and modernity¹⁰.

The uniqueness of Egypt is that the essential water resources are limited to the Nile River, flash floods, low rainfall rates and groundwater in the western desert, Sinai and Delta [4]. More than 96 % of Egypt's freshwater needs are provided by the Nile River, the longest river in the world, which serves eleven countries and originates from outside the borders of the country¹¹ [5].

Historically the Nile water rights of Egypt were ratified by an agreement between Egypt and the United Kingdom, on behalf of Sudan, in 1929 [6]. In 1959 after the construction of High Aswan Dam an agreement, as a supplementary part of the 1929 agreement, was signed between Egypt and Sudan for the optimum use of the Nile water¹². This agreement entitled 55.5 BCM/year and 18.5 BCM/year of Nile water for Egypt and Sudan respectively. About 86 % of this water is supplied from the Blue Nile and Atbara (Ethiopia's tributaries) [4].

MATERIALS AND METHODS

The applied method in this paper is the comprehensive analysis and deep understanding of previous studies and using the available materials.

RESULTS AND DISCUSSION

The main body of the article was divided into three main parts as follow:

1. Main challenges facing water resources management in Egypt and possible methodologies to meet them

¹ Chang N.B., Wen C.G., Wu S.L. Optimal management of environmental and land resources in a reservoir watershed by multi-objective programming. *Journal of Environmental Management*. 1995; 44:144-161.

² Gezelius S.S., Refsgaard K. Barriers to rational decision-making in environmental planning. *Journal of Land Use Policy*. 2007; 24:338-348.

³ Nikkami D., Shabani M., Ahmadi H. Land use scenarios and optimization in a watershed. *Journal of Applied Sciences*. 2009; 9(2):287-297.

⁴ Diana R.K. Water sharing in the Nile River Valley. *Project GNV011: using GIS/remote sensing for the sustainable use of natural resources*. Geneva, 2000; 1-85.

⁵ United Nations Common Country Assessment. Embracing the spirit of millennium declaration. *United Nations-Egypt*. Cairo, Egypt, 2005. URL: <http://www.undp.org/content/dam/egypt/docs/LegalFramework/Common%20Country%20Assesment%202005%20Egypt.pdf>

⁶ Nino M. Social and environmental constraints to the irrigation water conservation measures in Egypt. *MSc Thesis, Lund University*. Sweden, 2003.

⁷ Ministry of Water Resources and Irrigation. Adopted measures to trace major challenges in the Egyptian water sector. *A report submitted at the request of World Water Council for 3rd World Water Forum*. Cairo, Egypt, 2002; 1-39.

⁸ Abdelhai M. Rural non-farm employment. *Workshop Current and emerging issues for economic analysis and policy research, CUREMIS II NENA*. FAO. INP, 2002.

⁹ *Water Scarcity in Egypt*. Arab Republic of Egypt, Ministry of Water Resources and Irrigation. February 2014. URL: https://globalhealthnewswire.com/wp-content/uploads/2016/09/Egypt%20Water%20Resources%20Paper_2014.pdf

¹⁰ Wagdy A. Progress in water resources management: Egypt. *Proceedings of the 1st Technical Meeting of Muslim Water Researchers Cooperation, MUWAREC*. Malaysia, December 2008; 1-13.

¹¹ Abdin A.E., Gaafar I. Rational Water Use in Egypt, Technological Perspectives for Rational Use of Water Resources in the Mediterranean Region. *Options Méditerranéennes*. 2009; 88:11-27.

¹² Hvidt M. Water resource planning in Egypt. *The Middle Eastern Environment: Selected papers of the 1995 Conference of the British Society of Middle Eastern Studies*. Cambridge, 1995; 90-100.

Fig. 1. The location of GERD

There are many challenges facing water resources management in Egypt that need a hard and exhausting effort to overcome these challenges. They can be summarized as follow:

The Grand Ethiopian Renaissance Dam

It can be said that the main challenge for the water resources in Egypt now is the construction of the Grand Ethiopian Renaissance Dam (GERD) (Fig. 1).

The construction of GERD has begun since 2011 on the Blue Nile by the Ethiopian government in Guba, about 60 km from the borders of Sudan and 750 km from the Ethiopian capital Addis Ababa. The surface area of the GERD reservoir is expected to be 1874 km² and the entire stock level is 640 m above mean sea level and the volume of the complete active stock is 74 BCM¹³.

The risks of the construction of GERD can be concluded as follow; reducing the period of filling GERD

reservoir, increasing the GERD reservoir capacity, the breakdown of GERD due to a design or construction error or natural disaster, reducing Egypt's share of Nile water, reducing the generated electricity from High Aswan Dam, the influence on Nile water quality, decreasing the area of the cultivated land, Decreasing the groundwater stock, the influence on the climate, the influence on navigation and fisheries in the Nile water, the influence on the public health and the distribution of population and the potential conflict between Egypt and Ethiopia [7–9].

Ethiopia has the right to develop itself without harm to others. This situation must be solved between the two countries through an agreement, which enables the Ethiopian government to construct its dam without negatively affecting the share of Egypt from the Nile water [10]. This agreement will help in avoiding any potential armed conflict between the two countries that may have negative consequences for the whole area. It is well known that the negotiations between Egypt and Ethiopia were postponed several times without achieving any progress. The last round of negotiations was held in Washington in February 2020, but the Ethiopian government declared that it rejected the results of these negotiations¹⁴.

Growing population

According to the United Nations prospects the population of Egypt increased from 43.4 million to 68.8 to 100.4 in 1980, 2000 and 2019 respectively and expected to reach 160 million by 2050¹⁵. This growing population increases the water demand for approximately all purposes particularly growing crops and municipal uses. The shortage of public awareness plays an important role in the enlargement of this problem, especially in developing countries.

Public awareness programs are vital for informing the public, through various means, about the importance of water conservation and using new technologies in municipal uses or farm irrigation. In other words, spreading the culture of water-saving and its benefits to people [10]. The population of Egypt, which is regarded as a complicated water problem can be a great chance for solving this problem if it was properly exploited and employed.

Irrigation of cultivated land and high losses

Egypt uses the majority of its Nile water share in irrigation. About 85 % of the water liberated from the High Aswan Dam reservoir is used for irrigation,

¹³ Cairo University. *Implications of bridging the Ethiopian Renaissance on Egypt: a conference organized by Nile Basin Group*. Cairo University, Cairo, Egypt, 16 April 2013.

¹⁴ U.S. president Donald Trump addresses the national association of counties. *Legislative Conference in Washington. U.S., 3 March 2020. REUTERS/Carlos Barria*. URL: <https://www.reuters.com/article/us-egypt-ethiopia-trump/trump-tells-sisi-u-s-to-pursue-efforts-for-deal-on-ethiopia-dam-egypt-presidency-idUSKBN20Q2J4>

¹⁵ United Nations, Department of Economic and Social Affairs, *Population Dynamics, World Population Prospects*. 2019. URL: <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population>

Fig. 2. Annual rainfall in Egypt

while the last 15 % for the other uses¹⁶. The growing population and the increased standards of living raised the food demand, which compounded the needed water for cropping [10]. For instance, the rice cultivated land in the Nile Delta consumes about 11 BCM of irrigation water [11]. Furthermore, the high losses due to the surface water evaporation, seepage from canals and drains, infiltration from cultivated lands and aquatic weeds [3].

The use of low water consuming irrigation systems as drip systems or sprinklers, aquatic weeds removal, drains and canals lining, minimizing the evaporation losses through covering specific reaches of irrigation canals, leveling of the land and night irrigation, decreasing gradually the rice cultivated lands, transforming the sugarcane lands into sugar beet and using crops with high productivity and less water consumption are some of the effective solutions for this vital sector [3].

High evaporation rates and low rainfall

Egypt is regarded as an arid country with less than 200 mm annual precipitation within the northern coastal, which is significantly reduced to zero in Upper Egypt¹⁷ (Fig. 2). In a related context, Egypt suffers from high rates of evaporation, which are increased due to climate change. Maximum evaporation losses are at the High Aswan Dam reservoir with an average annual value of 15 BCM [2, 12–14] (Fig. 3).

It was discussed that the construction of dams at pinpointed locations and covering specific areas at the High Aswan Dam reservoir can conserve up to 3 BCM (5.5 % of Egypt's share from the Nile water) [2]. It was investigated that the removal of sediments from the High Aswan Dam reservoir bed will decrease the total evaporation losses by 6.5 % [15]. Nevertheless, further studies are still needed for the reliable assessment of these solutions. The installation of water condensers beside the places of high evaporation rates as High Aswan Dam reservoir, coasts and cultivated lands can decrease the high evaporation losses⁸. Plans and strategies must be developed by governments of Nile basin countries to adapt and mitigate the danger of predicted climate change, which may affect the water resources in the Nile basin negatively [16].

The lake of information

There is a lake of information in many sectors in Egypt, especially the water sector. The only available measured data is the share of Egypt from the Nile water Downstream High Aswan Dam. The other available measurements are not accurate, limited, usually done at long intervals and not for all elements. For example, there are no accurate measurements for the industrial and domestic water uses or the distribution losses in various zones.

¹⁶ Abdeldayem S. Water quality issues in Egypt. *Italian–Egyptian Study Days on the Environment*. Cairo, Egypt, 9-20. October 1994; 81-92.

¹⁷ Abuzeid M.A. Water resources assessment for Egypt. *International Journal of Water Resources Development*. 2007; 8(2):76-86.

Fig. 3. HADR at water level 181.56 m AMSL including major khors

All this hinders the management of water resources in Egypt [6].

The process of Integrated Water Management requires efficient management for the information and databases as helping tools⁸. Therefore, powerful and complete databases must be prepared and presented for the scientific research community by the authorities and the research institutes. Activities for the transfer of information and findings of applied research should be organized to support the network of the local water studies and to enhance an effective program for consultative services, as it was intended by the Regional Center for Training and Water Studies (RCTWS)¹⁸.

2. Water resources alternatives

Egypt has to look for alternatives for the currently available water resources. There are different studies covered this point and among the proposed suggestions:

Upper Nile projects

Particularly three massive projects had been planned to be executed in the reach of the upper Nile for increasing the yield of the Nile River through the conservation of the water losses in the swampy zone in sudd area in south Sudan. These projects are the Jonglei Canal (phase I&II), the development of Bahr El-Ghazal and River Sobat-Machar Marshes. 18 BCM of fresh-

water was expected to be added to the current yield of the Nile annually. This amount was planned to be divided equally between Egypt and Sudan [17].

Connecting Congo River Basin to Nile River Basin is another suggested project. Congo River is the richest river in Africa and every year more than 1000 BCM are wasted in the ocean. But this project is facing some obstacles to be implemented as the data shortage, huge costs, environmental consequences and incomplete studies.

Water well drilling

There are two sources of groundwater in Egypt. The first source is the desert aquifers that are deep and non-renewable in most cases. The current average annual withdrawal rate from these aquifers is from 1.5 to 1.85 BCM, however, it can be increased to 3.5 BCM. The second source is the Nile aquifer, which is located beneath the agricultural land in Delta and Nile Valley. The water in the Nile aquifer is shallow and renewable and less quality compared to the groundwater in the desert and the average annual pumping rate is 3 BCM⁸.

Seawater desalination

Seawater desalination is proposed as a potential solution for agriculture and municipal uses. But this alternative is very costly as the desalination of 1 m³ of seawater costs about 5LE.

¹⁸ Alnaggar D. Water resources management and policies for Egypt. *Workshop on Policies and Strategies Options for Water Management in Islamic Countries*. Tehran, Iran, December 2003.

Treated wastewater and drainage water reuse

The planned volume of reused drainage water for irrigation is 8.3 BCM/year by the year 2017. Municipal and industrial wastewater reuse is expected to reach 1.5 BCM/year by 2025. Further studies are still required for simple and low-cost treatment technology⁸.

3. Land use allocation

Water resources management in Egypt has been studied for a long time using various techniques. But one of the considered methods for the conservation of water resources is the land use allocation based on optimization modeling and geographic information systems GIS, which has been applied successfully in many regions. This method has not been addressed in Egypt much and can be applied to many regions.

Land uses cannot be detached from the problem of water resources. One of the most important solutions for this problem is to find the optimum land use allocation, as lack of integrated land use planning will lead to over-consumption for water resources. Also, it has eco-environmental and socio-economic implications like random urban development and insufficient civil and environmental infrastructures.

Scientists usually conduct their land use management studies within a confined area which is delineated by land features that can be defined as a watershed. The focus was on urban, agriculture, and forest areas. Different approaches were applied, such as the assessment of land use suitability, forecasting of land use change, evaluation of the land, and land use allocation¹⁹.

Comprehensive and extensive analysis is required to get the optimum water and land use for any watershed. In the field of integrated land use management GIS technique is well-known as a great tool as mentioned by many researchers, but watershed land use management is a multidisciplinary and manifold problem. So, for the best results the merging of analytical models in GIS became attractive for planners and managers of resources. Optimization model and a GIS land allocation one can form the essential body of the proposed integrated land allocation system [18].

Optimization model

A multi-objective general programming problem can be formulated with uncertain parameters. The dis-

tributions of the probability are formulated to clarify uncertainties in different components of the system and their interrelationships.

This method provides effective quantification, identification, assessment, and communication of different types of uncertainties and the risks associated with it.

Using different scenarios, the optimization model can be solved with different economic, environmental, and physical conditions. Regarding environmental and economic trade-offs, these scenarios should correlate with various objective function values representing decisions.

GIS land allocation model

The question of “what to do?” can be directly answered with the help of the optimization model results for different human activities in different spatial units and temporal ones. The applied spatial units in the optimization modeling are not clear enough for decision-makers and planners to perform the optimal changes for land use.

For this reason, the GIS land allocation model is used to select the optimal strategies for the execution of the optimization model results, as the GIS model answers the question of “how can I do it?”²⁰.

CONCLUSIONS

The problem of water resources management in Egypt is complicated. Many factors are affecting this problem. Egypt has been experiencing water scarcity since 2000 and increases every year due to many reasons as the growing population and increasing standards of living. Many challenges facing water resources management in Egypt. The essential challenge currently is the construction of the GERD. Also, irrigation of cultivated land and high losses, increasing population, the lake of information and high evaporation rates and low rainfall. Different studies discussed that all these problems can be eliminated through the application of specific procedures. Water resources alternatives contribute significantly to solving these problems. Upper Nile Projects, water well drilling, seawater desalination and treated wastewater and drainage water reuse are some of these alternatives. Different techniques are used for the conservation of water resources. Land use allocation based on optimization modeling and GIS is one of these techniques, which has been applied successfully in many regions. This method can be used more in Egypt.

REFERENCES

1. Yasir S.A., Alessandra C., Yasir A.M., Nigel G.W., Roelvink J.A. Water resource assessment along the Blue Nile River, north Africa with a one-dimensional model. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers — Water Management*. 2014; 167(7):394-413. DOI: 10.1680/wama.13.00020
- ¹⁹ Yong L.A., Xiaojian L., Xiaosheng Q.B., Huaicheng G., Yajuan Y.A., Jinfeng W.A., Guozhu M. An integrated GIS-based analysis system for land use management of lake areas in urban fringe. *Landscape and Urban Planning*. 2007; 82(4):233-246.
- ²⁰ Xinhao W.A., Sheng Y.A., Huangb G.H. Land allocation based on integrated GIS-optimization modeling at a watershed level. *Landscape and Urban Planning*. 2004; 66(2):61-74.

2. Emad E., Dalia F., Brigitte U. Modeling high Aswan dam reservoir morphology using remote sensing to reduce evaporation. *International Journal of Geosciences*. 2014; 5(2):156-169. DOI: 10.4236/ijg.2014.52017
3. Mohieeldin M.O., Ahmed M.A. Water management in Egypt for facing the future challenges. *Journal of Advanced Research*. 2016; 7:403-412. DOI: 10.1016%2Fj.jare.2016.02.005
4. Abdelhaleem F., Helal E. Impacts of grand Ethiopian Renaissance Dam on different water usages in Upper Egypt. *British Journal of Applied Science & Technology*. 2015; 8(5):461-483. DOI: 10.9734/BJAST/2015/17252
5. Elsayed M.R., Omima S.S., Maha R.F., Gamal M.A. Integrated water resource management in Sharkia Governorate, East Nile Delta using numerical evaluation of water management strategies. *Alexandria Engineering Journal*. 2019; 58(2):757-771. DOI:10.1016/j.aej.2019.06.006
6. Allam M.N., Allam G.I. Water resources in Egypt: future challenges and opportunities. *Water International Journal*. 2007; 32(2):205-218. DOI: 10.1080/02508060708692201
7. Walaa Y.E., Ahmed H.E. Managing risks of the Grand Ethiopian Renaissance Dam on Egypt. *Ain-Shams Engineering Journal*. 2018; 9(4):2383-2388. DOI: 10.1016/j.asej.2017.06.004
8. Hamdy E., Slobodan D., Dragan A.S., Ioannis T. The Nile Water-Food-Energy Nexus under Uncertainty: Impacts of the Grand Ethiopian Renaissance Dam. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 2020; 146(11). DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001285
9. Prakrut K., Wenzhao L., Hesham E., Venkataraman L., Thomas P., Daniele S. et al. An Assessment of the Filling Process of the Grand Ethiopian Renaissance Dam and Its Impact on the Downstream Countries. *Remote Sensing*. 2021; 13(4):711. DOI: 10.3390/rs13040711
10. Randa E. Water resources management: alarming crisis for Egypt. *Journal of Management and Sustainability*. 2014; 4(3). DOI: 10.5539/jms.v4n3p108
11. Harby M., Naoya F. Water saving scenarios for effective irrigation management in Egyptian rice cultivation. *Ecological Engineering*. 2014; 70:11-15. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2014.04.005
12. Abdrabbo M.A., Farag A.A., El-Desokey W.M.S. Implementing of RCPs Scenarios for the Prediction of Evapotranspiration in Egypt. *International Journal of Plant & Soil Science*. 2015; 6(1):50-63. DOI: 10.9734/IJPSS/2015/12721
13. Elshemy M., Khadr M. Hydrodynamic Impacts of Egyptian Coastal Lakes Due to Climate Change — Example Manzala Lake. *Eighteenth International Water Technology Conference, IWTC18*. Sharm ElSheikh, Egypt, 12-14 March 2015.
14. Abdelshafy H.I., Elsharty A.A., Regelsberger M., Platzer C. Rainwater issue in Egypt: quantity, climatic effect and future overlook. *Journal of Mediterranean Marine Science*. 2010; 11(2):245-257. DOI: 10.12681/mms.75
15. Emad E., Brigitte U., Bernd E., Dalia F. Mitigating the impact of climate change by reducing evaporation losses: sediment removal from the High Aswan Dam reservoir. *American Journal of Climate Change*. 2017; 6(2):230-246. DOI: 10.4236/ajcc.2017.62012
16. Hamimi Z., El-Barkooky A., Frías J.M., Fritz H., El-Rahman Y.A. The Geology of Egypt. *Regional Geology Reviews*. 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-15265-9
17. Zaghloul A.S., Elsayed M., Elzawahry A. Impact of Upper Nile projects on the hydraulic performance of the White Nile and Jebel Aulia Dam operation. *Twentieth International Water Technology Conference, IWTC20*. Hurghada, Egypt, 18-20 May 2017; 549-560. DOI: <http://iwtc.info/wp-content/uploads/2017/05/122.pdf>
18. Wael M.E., Mona G.I., Wael E.M. Flash flood risk estimation of Wadi Qena Watershed, Egypt Using GIS based morphometric analysis. *Journal of Applied Environmental Research*. 2018; 40(1):36-45. DOI: 10.35762/AER.2018.40.1.4

Received November 25, 2020.

Adopted in revised form on March 15, 2021.

Approved for publication on March 15, 2021.

BIONOTES: Mostafa Ezzeldin — PhD student of the Construction Department of the Academy of Engineering; **Peoples' Friendship University of Russia (RUDN)**; 3 Ordzhonikidze st., Moscow, 115419, Russian Federation; assistant lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering; **Menoufia University**; Shibin-el-Kom, 32511, Egypt; ORCID: 0000-0003-0332-0424, Scopus: 57202866983; 1042195003@pfur.ru.