\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

©Касем Р.Х.М., 2025.

**Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов**

**Water supply, sewage, water conservation
construction systems**

Научная статья

УДК 696.11

DOI: 10.14529/build250307

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ
В РЕГИОНЕ БЛИЖНЕГО ВОСТОКА И СЕВЕРНОЙ АФРИКИ**

***Р.Х.М. Касем🖂***

*Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия*

# 🖂 rabeagasem@gmail.com

***Аннотация.*** Ближний Восток и Северная Африка (БВСА) сталкиваются с нарастающим водным кризисом, усугубляемым изменением климата, ростом населения, урбанизацией и неэффективным управлением водными ресурсами. По прогнозам, численность населения региона достигнет 724 миллионов человек к 2050 году, что увеличит потребность в воде на фоне уже существующего дефицита. С 2014 по 2020 год потребление воды выросло на 540 %, достигнув 360 млн м³ в 2020 году. Параллельно средние температуры в регионе повысились на 1,2 °C с 1970 года, а к 2050 году ожидается дальнейшее увеличение на 1,5–3 °C, что усилит засухи, тепловые волны и нехватку воды. В дополнение к этому количество осадков в регионе снизилось на 4,66 % за последние 60 лет, а прогнозы указывают на дальнейшее сокращение на 5–20 % к 2050 году, что усугубит нехватку водных ресурсов и снизит урожайность на 30 %. Повышение уровня моря на 3–5 мм в год в Персидском заливе и Средиземном море приводит к засолению прибрежных водоносных горизонтов и угрожает сельскому хозяйству. В данной работе проводится анализ динамики водных ресурсов региона в условиях изменения климата, а также рассматриваются стратегии адаптации. Полученные результаты подчеркивают необходимость комплексного управления водными ресурсами для смягчения климатических рисков и обеспечения устойчивого водоснабжения в регионе БВСА.

***Ключевые слова***: гидрология, изменение климата, экологическая геонаука, засоление, устойчивое развитие, водные ресурсы

*Для цитирования.* Касем Р.Х.М. Влияние изменения климата на водные ресурсы в регионе Ближнего Востока и Северной Африки // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2025. Т. 25, № 3. С. 60–66. DOI: 10.14529/build250307

Original article

DOI: 10.14529/build250307

**THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON WATER RESOURCES
IN THE MENA REGION**

***R.H.M. Qasem🖂***

*South Ural State University, Chelyabinsk, Russia*

***🖂*** *rabeagasem@gmail.com*

***Abstract***. The Middle East and North Africa (MENA) region is facing an escalating water crisis exacerbated by climate change, population growth, urbanization, and inefficient water resource management. By 2050, the region's population is expected to reach 724 million, significantly increasing water demand amid existing scarcity. From 2014 to 2020, water consumption grew by 540%, reaching 360 million m³ in 2020. During this period, average temperatures in the region have increased by 1.2°C since 1970, and a further rise of 1.5–3°C is expected by 2050, intensifying droughts, heatwaves, and water shortages. Additionally, regional precipitation has decreased by 4.66% over the past 60 years, with projections indicating a further decline of 5–20% by 2050, exacerbating water scarcity and reducing agricultural

**Введение**

yields by 30%. Sea level rise of 3–5 mm per year in the Persian Gulf and the Mediterranean Sea is causing salinization of coastal aquifers, threatening agriculture. The study analyzes the dynamics of water resources in the region under climate change and explores adaptation strategies. The findings highlight the need for integrated water resource management to mitigate climate risks and ensure sustainable water supply in the MENA region.

***Keywords:*** hydrology, climate change, environmental geoscience, salinization, sustainable development, water resources

***For citation.*** Qasem R.H.M. The impact of climate change on water resources in the MENA region. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2025;25(3):60–66. (in Russ.). DOI: 10.14529/build250307

Ближний Восток и Северная Африка характеризуются суровыми пустынными ландшафтами, ограниченными запасами пресной воды, богатым культурным наследием, геополитической значимостью, быстрым ростом населения (более 450 млн человек) (рис. 1), с прогнозируемым увеличением до 724 млн к 2050 году (Всемирный банк, 2023), а также экологическим разнообразием. Эти факторы приводят к серьезному пересечению с изменением климата, особенно в критически важных секторах, таких как водные ресурсы [1]. Большинство стран региона БВСА расположены в одном из самых засушливых и подверженных нехватке воды регионов мира. Исторически сложилось так, что страны БВСА адаптировались к засушливым условиям, изменчивым осадкам и ограниченным запасам пресной воды. Однако изменение климата усугубляет существующие уязвимости и испытывает на прочность устойчивость общества за счет изменений режима осадков, повышения температуры и увеличения уровня моря, что ведет к устойчивым вызовам, таким как нехватка воды, сокращение сельскохозяйственного производства, рост энергопотребления, перегрузка инфраструктуры, экономические трудности, социальные напряжения и демографическое давление [2].

**Рис. 1. Страны с самым быстрым ростом населения на Ближнем Востоке
и в Северной Африке и общее население региона в период с 1960 по 2022 год согласно ФАО (2023)**

Изменения режима осадков и повышение температуры, вызванные изменением климата, оказывают глубокое и хорошо задокументированное влияние на водные ресурсы стран региона БВСА. Забор пресной воды ежегодно увеличивался, достигнув 360 млн м³ в 2020 году, как показано на рис. 2.

Согласно данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC, 2018), доступность воды на душу населения сократилась с 3400 м³/год в 1960 году до менее 700 м³/год в настоящее время, что значительно ниже порогового значения вододефицита в 1000 м³/год. Одновременно с этим увеличение испарения, вызванное изменением климата, усугубляет проблему нехватки воды, усиливая давление на водные ресурсы. Исследования [3, 4] показывают, что в таких странах, как Иордания и Йемен, доступность воды на душу населения уже находится на критически низком уровне, а изменение климата усиливает этот стресс. Кроме того, участились и усилились засухи, создавая дополнительную нагрузку на поверхностные и подземные водоисточники. Повышение уровня моря также вызывает серьезные опасения, поскольку оно может привести к потере земель и повреждению инфраструктуры. Проникновение соленой воды в пресные водоемы усугубляет проблему нехватки воды, негативно влияет на сельское хозяйство и продовольственное производство, что потенциально может привести к продовольственной нестабильности [5]. Исследование анализирует влияние изменения климата на водные ресурсы региона БВСА, включая изменения температуры, осадков и уровня моря и влияние на водную доступность. Рассматриваются стратегии адаптации, такие как опреснение, переработка сточных вод и развитие возобновляемых источников энергии.



**Рис. 2. Годовой забор пресной воды (миллион кубических метров) в ключевых странах БВСА,
а также на БВСА согласно ФАО (2021)**

**1. Методология**

Была реализована структурированная стратегия поиска для выявления релевантной литературы с использованием нескольких академических баз данных, включая Web of Science, Scopus и Google Scholar. Поиск осуществлялся с помощью комбинаций ключевых слов с использованием булевых операторов (AND, OR) и подстановочных символов (\*) для обеспечения широкого, но целенаправленного охвата литературы. Основные ключевые слова включали «изменение климата», «вода и продовольствие», «регион БВСА», «водная безопасность» и «продовольственная безопасность». Кроме того, соответствующие отчеты из авторитетных источников, включая FAO, IPCC, Всемирный банк, были проанализированы с помощью Microsoft Office Excel 2023 для уточнения анализа данных путем выборочного выделения ключевых слов для региона БВСА.

**2. Влияние текущих климатических изменений**

*2.1. Изменение режима осадков*

Изменение климата привело к значительным изменениям в режимах осадков в регионе БВСА, что увеличило их вариативность и усложнило управление водными ресурсами. В то время как в некоторых странах – Йемен, Саудовская Аравия и Оман – наблюдается увеличение количества осадков и усиление штормов, другие – ОАЭ, Ирак и Иордания – сталкиваются с продолжительными засухами и снижением уровня осадков, что усугубляет нехватку воды и отрицательно сказывается на сельском хозяйстве и водоснабжении [6].

Восточное Средиземноморье, охватывающее часть региона БВСА, также столкнулось со значительным снижением годового количества осадков за последние десятилетия, что усугубляет нехватку водных ресурсов. Прогнозы климатических моделей указывают на то, что к середине века в отдельных районах Ирана объем осадков может сократиться на 25 %, что приведет к дальнейшему обострению проблем, связанных с нехваткой воды. Согласно данным IPCC (2018), при сценарии высоких выбросов в регионе БВСА ожидается снижение годового количества осадков на 5–20 %, а также сокращение сельскохозяйственной продуктивности на 30 % к 2050 году из-за повышения температуры, изменения режима осадков и учащения экстремальных погодных явлений. Это усугубляет нехватку воды, усиливает конкуренцию за водные ресурсы и повышает угрозу продовольственной безопасности, учитывая ограниченность пахотных земель и зависимость региона от импорта продовольствия. Таким образом, обостряются вопросы безопасности водных ресурсов, урожайности сельскохозяйственных культур и продовольственного обеспечения [7].

Количество осадков в регионе БВСА снизилось примерно на 4,66 % за последние 60 лет, как показано на рис. 3, что отражает значительную долгосрочную тенденцию к высыханию, которая может иметь серьезные последствия для доступности воды, сельского хозяйства и устойчивости к изменениям климата в регионе.

**Рис. 3. Изменение режима осадков в БВСА с 1963 по 2023 год**

*2.2. Повышение температуры*

Согласно данным Всемирной метеорологической организации (WMO), с 1970 года средняя температура в регионе БВСА повысилась на 1,2 °C. Более того, прогнозы Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC) указывают, что к 2050 году температура в БВСА возрастёт на 1,5–3 °C, особенно при сценариях с высоким уровнем выбросов. В будущих сценариях также предполагается, что к 2050 году в Эр-Рияде и Кувейте число дней с температурами выше 50 °C значительно увеличится, если выбросы продолжат расти [8].

Повышение температуры оказывает более серьёзное воздействие на регион БВСА, чем на другие части мира. Преимущественно засушливый и полузасушливый климат делает регион крайне уязвимым к нехватке воды, а рост температур ускоряет испарение, усугубляя данную проблему. Многие страны БВСА в значительной степени зависят от орошаемого сельского хозяйства, используя ограниченные водные источники, такие как реки Нил и Евфрат. Повышение температуры уже привело к снижению уровня воды в Евфрате, что негативно сказалось на сельском хозяйстве Ирака [9]. Кроме того, экономическая и социальная нестабильность региона, в котором в большинстве стран экономика во многом зависит от сельского хозяйства, делает его более уязвимым к экономическим потрясениям и социальной дестабилизации. Это приводит к увеличению миграции и конфликтам за ресурсы, таким как водные споры между Египтом и Эфиопией, а также между Ираком и Турцией. Рис. 4 иллюстрирует тенденцию повышения температуры в регионе БВСА с 2000 по 2022 год, наблюдается явное ускорение потепления, особенно после 2014 года. Согласно Статистическому ежегоднику ФАО (2021), в период с 2010 по 2022 год произошло заметное увеличение температур, что соответствует глобальным изменениям климата. Резкий рост после 2015 года указывает на усиление климатических изменений, которые могут иметь серьезные последствия для водных ресурсов, сельского хозяйства и экосистем региона.

*2.3. Засуха*

Засухи в регионе БВСА определяются как статистически значимое сокращение водных ресурсов вследствие длительных периодов ниже среднего уровня осадков. Эти засухи усугубляются изменением климата, которое увеличивает как частоту, так и интенсивность засушливых периодов. Исторически засухи были естественной частью климатических условий региона, однако глобальное потепление сделало их более разрушительными, что привело к серьезным последствиям для сельского хозяйства, водоснабжения и экосистем. Нехватка воды является давней проблемой региона, обостряющейся под влиянием изменения климата, которое увеличивает частоту и тяжесть засух. Эти засушливые периоды оказывают значительное негативное воздействие на сельское хозяйство, водоснабжение и экосистемы. Например, в Сирии сильная засуха 2006–2011 годов наряду с другими факторами привела к острой нехватке продовольствия и воды.

Согласно отчету IPCC (2020), в регионе БВСА наблюдается рост интенсивности засух, что подчеркивает серьезность проблемы. Продолжительные засухи являются естественным климатическим явлением для региона, но их масштабы усугубляются глобальным потеплением. Расширение зон засух в регионе БВСА оказывает крайне негативное влияние на водные. Это приводит к истощению подземных вод, сокращению доступности водных ресурсов, росту спроса на электроэнергию, снижению выработки гидроэнергии, уменьшению урожайности сельскохозяйственных культур, снижению продуктивности животноводства и росту цен на продукты питания [10].

**Рис. 4. Повышение температуры на БВСА в период с 2010 по 2022 год
согласно Статистическому ежегоднику 2021 года Всемирной продовольственной
и сельскохозяйственной организации (FAO, 2021)**

Будучи одним из самых засушливых регионов мира, БВСА сталкивается с хронической нехваткой водных ресурсов, получая лишь 2 % мирового возобновляемого водоснабжения при том, что в нем проживает 6 % мирового населения. Это усиливает последствия снижения или нерегулярности осадков. Многие страны региона, такие как Ирак и Сирия, зависят от рек, берущих начало за их пределами, что делает их уязвимыми к изменениям осадков в соседних странах и вызывает напряженность в вопросах распределения водных ресурсов. Регион также сталкивается с более продолжительными и интенсивными засухами, частота и сила которых увеличились на 30 %, особенно в таких странах, как Ирак, Сирия и Иран. Ярким примером является засуха в Сирии в период с 2006 по 2010 год, которая усугубила проблему нехватки воды и стала одним из факторов, способствовавших социальной нестабильности. Кроме того, зависимость БВСА от богарного земледелия повышает ее уязвимость к засухам. Это особенно заметно в таких странах, как Йемен, Тунис и Марокко, где нерегулярные осадки приводят к резкому снижению урожайности, что в начале 2000-х годов даже вызвало голод в Йемене.

Политическая напряженность вокруг водных ресурсов, например споры между Египтом и Эфиопией или между Ираком и Турцией, усугубляется этими проблемами. Быстрый рост населения и урбанизация продолжают оказывать дополнительное давление на ограниченные водные ресурсы региона [11].

*2.4. Повышение уровня моря*

Рост уровня моря представляет серьезную угрозу для прибрежных районов БВСА, создавая риск затопления городов и низменных территорий, а также приводя к засолению пресноводных водоносных горизонтов из-за проникновения морской воды. Особенно уязвимы прибрежные зоны Адена, Джидды, Кувейта, Салалы, дельты Нила и северной Мавритании, где повышение уровня моря ставит под угрозу критически важную инфраструктуру и жизненно важные водные ресурсы. Согласно Национальному управлению океанических и атмосферных исследований NOAA, уровень моря в Персидском заливе повышается на 3–5 мм в год, превышая средний мировой показатель. Это усиливает засоление прибрежных пресноводных водоносных горизонтов в регионах Персидского залива и Средиземного моря, создавая угрозу водным ресурсам. В частности, в дельте Нила в Египте 15 % пахотных земель находятся под угрозой из-за проникновения соленой воды. Дополнительно снижение притока воды из реки Иордан приводит к сокращению уровня Мертвого моря более чем на метр в год [12]. Таким образом, постоянное повышение уровня моря может привести к потере земель, повреждению инфраструктуры и усугублению водного кризиса в уязвимых регионах.

*2.6. Тропические циклоны*

Хотя регион БВСА традиционно не подвержен тропическим циклонам, их частота и интенсивность в Аравийском море растут, что, вероятно, связано с повышением температуры поверхности моря. В 2018 году тропический циклон Mekunu обрушился на Оман и Йемен, вызвав значительные разрушения. Помимо ущерба инфраструктуре циклон оказал негативное влияние на водоносные горизонты, приводя к засолению и загрязнению пресноводных запасов вследствие интенсивных осадков и проникновения морской воды. Эти процессы усугубляют существующие проблемы водной безопасности, делая регион еще более уязвимым перед изменяющимися климатическими условиями.

*2.7. Водные ресурсы и изменение климата*

Изменение климата усугубляет нехватку воды в регионе БВСА, вызывая снижение уровня осадков, ускоренное испарение и истощение грунтовых вод, особенно в Саудовской Аравии и Иране. В прибрежных районах, таких как дельта Нила и сектор Газа, повышение уровня моря способствует засолению водоносных горизонтов, ухудшая доступность пресной воды. Климатические изменения также вызывают колебания речного стока, осложняя управление водными ресурсами в бассейнах Евфрата и Нила. В ответ регион активно развивает адаптационные меры, включая строительство опреснительных установок и переработку сточных вод.

Хотя опреснение воды долгое время зависело от ископаемого топлива, сегодня набирают популярность более устойчивые технологии, включая солнечные и ветряные установки в Саудовской Аравии, ОАЭ и Марокко [13]. В Катаре и Омане растет доля переработанной воды, что подчеркивает стремление региона к устойчивому управлению водными ресурсами.

**3. Интегрированное обсуждение
и подходы к решению проблем**

Население в регионе БВСА значительно выросло (см. рис. 1), что привело к увеличению спроса на энергию, особенно электроэнергию, и росту выбросов парниковых газов. Это способствует изменению климата, повышению температур и усилению засушливости, что вызывает экстремальные тепловые волны и усугубляет нехватку воды в таких странах, как Египет, Йемен, Сирия и Судан. Это угрожает продовольственной безопасности и сельскому хозяйству. Сельское хозяйство страдает от повышения уровня моря (затопление и засоление земель в дельте Нила) и роста испарения рек (Иордания, Ирак), что также влияет на выработку электроэнергии. Экстремальные погодные явления, такие как тропические циклоны в Омане и Йемене, разрушают сельхозугодья, повышают соленость подземных вод.

В условиях изменения климата устойчивое управление водными ресурсами становится критически важным для региона БВСА, где нехватка пресной воды требует эффективных решений. В этом контексте БВСА, обладая 48 % мировой мощности по опреснению, является лидером в данной сфере. Лидерами по мощности опреснения являются Саудовская Аравия (23,38 %), Кувейт (19,32 %), Алжир (18,30 %), Израиль (14,67 %) и Египет (12,08 %). Для повышения устойчивости водоснабжения внедряются меры по переработке сточных вод и диверсификации водных ресурсов. В Катаре перерабатывается 20 % сточных вод, тогда как Израиль достигает 95 %, преимущественно для сельского хозяйства. Иордания также активно использует очищенные сточные воды в аграрном секторе, снижая зависимость от пресной воды. Трансграничное сотрудничество также играет важную роль, особенно в управлении водами Нила, Тигра и Евфрата.

Необходимы образовательные программы для рационального водопотребления, а также инвестиции в инфраструктуру, включая защиту от наводнений и создание водохранилищ. Эти меры помогут региону адаптироваться к изменению климата и смягчить последствия водного кризиса.

**Заключение и рекомендации**

Изменение климата оказывает значительное влияние на водные ресурсы региона БВСА, усугубляя нехватку воды, засоление почв и снижение сельскохозяйственной продуктивности. Население региона продолжает расти и, по прогнозам, достигнет 724 миллионов человек к 2050 году, что приведет к увеличению спроса на воду и энергоресурсы. Средняя температура в регионе уже повысилась на 1,2 °C с 1970 года, а к 2050 году ожидается дальнейший рост на 1,5–3 °C, что усилит частоту засух и экстремальных погодных явлений. В результате годовое количество осадков может снизиться на 5–20 %, а производительность сельского хозяйства упасть на 30 %.

Уже сегодня уровень воды в реках и водоносных горизонтах стремительно снижается. В Египте 15 % пахотных земель в дельте Нила находятся под угрозой засоления, а Мертвое море сокращается более чем на 1 метр в год. Повышение уровня моря на 3–5 мм в год в Персидском заливе ускоряет засоление прибрежных водных источников, что особенно затрагивает Йемен, Оман, Кувейт и Саудовскую Аравию.

Для решения водного кризиса в БВСА необходим комплексный подход, включающий расширение опреснительных мощностей, переработку сточных вод и диверсификацию водных ресурсов через сбор дождевой воды и повторное использование очищенной воды. Важную роль играет развитие возобновляемых источников энергии для водоснабжения, трансграничное сотрудничество в управлении реками Нил, Тигр и Евфрат, а также адаптация сельского хозяйства путем внедрения устойчивых к засухам культур и капельного орошения. Эти меры помогут региону смягчить последствия изменения климата и обеспечить водную и продовольственную безопасность.

**Список литературы / References**

1. Terink W. et al. Climate change projections of precipitation and reference evapotranspiration for the Middle East and Northern Africa until 2050. *International Journal of Climatology*. 2013. Vol. 33 (14), pp. 3055–3072. DOI: 10.1002/joc.3650
2. Feitelson E., Tubi A. A main driver or an intermediate variable? Climate change, water and security in the Middle East. *Global Environmental Change*. 2017. Vol. 44 (May), pp. 39–48. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2017.03.001
3. DeNicola E. et al. Climate change and water scarcity: The case of Saudi Arabia. *Annals of Global Health*. 2015. Vol. 81, no. 3, pp. 342 – 353. DOI: 10.1016/j.aogh.2015.08.005
4. El-Askary H. et al. Impact of sea level rise on the low land area South-East of Alexandria, Egypt. In *American Geophysical Union, Fall Meeting*, San Francisco, 14–19 December 2009, abstract #NH11A-1097.
5. Evans J.P. 21st century climate change in the Middle East. *Climatic Change*. 2009. Vol. 92 (3–4), pp. 417–32. DOI: 10.1007/s10584-008-9438-5
6. Tabari H., Willems P. Seasonally varying footprint of climate change on precipitation in the Middle East. *Scientific Reports*. 2018. Vol. 8 (1). DOI: 10.1038/s41598-018-22795-8
7. Gleick P.H. Water, drought, climate change, and conflict in Syria. *Weather, Climate, and Society*. 2014. Vol. 6 (3), pp. 331–340. DOI: 10.1175/WCAS-D-13-00059.1
8. Günel G. The infinity of water: Climate change adaptation in the Arabian Peninsula. *Public Culture*. 2016. Vol. 28 (2), pp. 291–315. DOI: 10.1215/08992363-3427463
9. Hereher M.E. Assessment of climate change impacts on sea surface temperatures and sea level rise – The Arabian Gulf. *Climate*. 2020. Vol. 8 (4). DOI: 10.3390/cli8040050
10. Osman Y. et al. Climate change and future precipitation in an arid environment of the Middle East: Case study of Iraq. *Journal of Environmental Hydrology*. 2017. Vol. 25, pp. 1–18.
11. Zakaria S. et al. Historical and future climatic change scenarios for temperature and rainfall for Iraq. *Journal of Civil Engineering and Architecture*. 2013. Vol. 7(12), pp. 1574–1594.
12. Al Saafani M.A. et al. Impact of sea level rise and climate change on the coastal zone of Aden Governorate, Republic of Yemen. *Faculty of Science Bulletin*. 2015. Vol. 27, pp. 15–32.
13. Mostafa S. et al. Impact of climate change on water resources and crop yield in the Middle Egypt region // *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*. 2021. Vol. 70 (3), pp. 1066–1084. DOI: 10.2166/aqua.2021.019

***Информация об авторе:***

**Касем** **Раби Хуссейн Мохамме**д, аспирант кафедры «Градостроительство, инженерные сети и системы», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, rabeagasem@gmail.com

***Information about the author:***

**R.H.M. Qasem**, postgraduate student, the department of Town Planning, Engineering Networks and Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, rabeagasem@gmail.com.

***Статья поступила в редакцию 24.02.2025, принята к публикации 20.03.2025.***

***The article was submitted 24.02.2025, approved after reviewing 20.03.2025.***