
DOI: 10.31696/2618-7302-2022-4-083-092

РОЛЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМЫ ПРЕСНОЙ ВОДЫ НА ВОСТОКЕ

М. Г. Борисов¹

Во многих регионах мира нехватка пресной воды начинает приобретать катастрофический характер. Восток здесь выделяется особой остротой проблемы. Многие государства с целью покрытия дефицита пресной воды возводят новые опреснительные установки. Однако это противоречит принятым этими странами в рамках Парижских соглашений обязательствам по декарбонизации экономики, поскольку опреснение, будучи крайне энергоемким, сопряжено со значительным «углеродным следом». Единственным путем разрешения этого противоречия может стать интеграция опреснения в быстро разворачивающийся в мире энергетический переход, основным содержанием которого является декарбонизация.

Ключевые слова: опреснение, декарбонизация, энергетический переход, возобновляемые источники энергии, распределенная энергетика, Парижские соглашения

Для цитирования: Борисов М. Г. Роль энергетического перехода в решении проблемы пресной воды на Востоке. Вестник Института востоковедения РАН. 2022. № 4. С. 83–92. DOI: 10.31696/2618-7302-2022-4-083-092

THE ROLE OF ENERGY TRANSITION IN SOLVING THE PROBLEM OF FRESH WATER SCARCITY IN THE EAST

Mikhail G. Borisov

The shortage of fresh water in many regions of the world is turning into a disaster. This problem in the East is especially acute. To cover the shortage of fresh water many countries are building new desalination facilities. This process, however, contradicts these countries' obligations under the Paris agreement to decarbonize their economies since the traditional desalination — being extremely energy consuming — is fraught with a considerable carbon footprint. The only way to solve this problem is to integrate desalination into the rapidly going energy transition based on decarbonization.

Keywords: desalination, decarbonization, energy transition, renewable energy sources, distributed energy, Paris agreement

For citation: Borisov M. G. The Role of Energy Transition in Solving the Problem of Fresh Water Scarcity in the East. Vestnik Instituta vostokovedenija RAN. 2022. 4. Pp. 83–92. DOI: 10.31696/2618-7302-2022-4-083-092

¹ Борисов Михаил Глебович, кандидат экономических наук, старший научный сотрудник Отдела экономических исследований Института востоковедения РАН, Москва; mgborisov@yandex.ru.

Mikhail G. Borisov, PhD in Economics, Senior Researcher, Economic Research Dept., Institute of Oriental Studies, Russian Academy of Sciences, Moscow; mgborisov@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-7660-7410

В настоящее время 4 млрд человек в мире испытывают нехватку пресной воды, 66% этого количества тяжело страдает от ее недостатка минимум один месяц в году². Каждый третий житель Земли не имеет доступа к безопасной питьевой воде³. В 17 странах (четверть населения мира) нехватка воды носит катастрофический характер⁴. Недостаток воды стоит некоторым странам до 6% их ВВП⁵. Эксперты ООН полагают, что при имеющейся эффективности водопользования потребление воды возрастет в период 2020–2040 гг. на 40%, а существующие темпы увеличения эффективности использования воды «закроют» лишь 20% объема этого увеличения⁶.

Климатические изменения последнего времени добавляют остроты водной проблеме, особенно в самом вододефицитном регионе мира — на Ближнем и Среднем Востоке и в Северной Африке. Дефицит пресной воды здесь будет возрастать самыми большими темпами — за период 2020–2050 гг. он увеличится более чем в пять раз⁷ (Табл. 1).

Таблица 1. Общая потребность и не удовлетворенная собственными ресурсами потребность в пресной воде в вододефицитных странах Востока (куб. км)

Страна	Общая потребность		Потребность, не удовлетворенная собственным производством	
	2020–2030	2040–2050	2020–2030	2040–2050
Алжир	8,8	12,3	0	3,9
Бахрейн	0,3	0,4	0,3	0,4
Египет	70,4	87,7	22,3	31,7
Иран	84,1	87,1	21,8	40,0
Ирак	67,2	83,9	34,4	54,9
Израиль	3,4	4,2	2,6	3,5
Иордания	1,5	2,3	1,3	2,1
Кувейт	0,8	1,3	0,5	0,8
Ливан	1,5	1,9	0,5	0,9
Ливия	5,0	6,0	1,3	3,7
Марокко	19,3	24,2	9,1	15,4
Катар	0,3	0,4	0,2	0,3

² Four billion people facing severe water scarcity. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26933676/> (дата обращения: 13.01.2022).

³ Fresh water; fresh ideas. Can renewable energy be the future of desalination. <https://alj.com/en/perspective/fresh-water-fresh-ideas-can-renewable-energy-be-the-future-of-desalination/> (дата обращения: 04.01.2022).

⁴ World Bank Group. The Role of Desalination in an Increasingly Water-Scare World. <https://idadesal.org/wp-content/uploads/2019/04/World-Bank-Report-2019.pdf> (дата обращения: 05.01.2022).

⁵ Fresh water; fresh ideas. Can renewable energy be the future of desalination. <https://alj.com/en/perspective/fresh-water-fresh-ideas-can-renewable-energy-be-the-future-of-desalination/> (дата обращения: 04.01.2022).

⁶ United Nations Environment Programme. Options for Developing Economic Growth from Water Use and Water Pollution. <https://resourcepanel.org/reports/options-decoupling-economic-growth-water-use-and-water-pollution> (дата обращения: 23.01.2022).

⁷ World Bank. Renewable Energy Desalination. An Emerging Solution to Close the Water Gap in the Middle East and North Africa. https://www.google.ru/books/edition/Renewable_Energy_Desalination/Q6VEZSUv3eoC?hl=en&gbpv=18printsec=frontcover (дата обращения: 15.01.2022).

Страна	Общая потребность		Потребность, не удовлетворенная собственным производством	
	2020–2030	2040–2050	2020–2030	2040–2050
Сауд. Аравия	22,7	26,7	14,4	20,3
Сирия	17,8	21,3	3,2	7,1
Тунис	3,2	4,5	0	0,9
ОАЭ	3,5	3,6	3,2	3,5
Йемен	17,1	20,7	2,6	8,5
Всего	319,1	393,1	119,4	199,2

Источник: World Bank. Renewable Energy Desalination. An Emerging Solution to Close the Water Gap in the Middle East and North Africa. https://www.google.ru/books/edition/Renewable_Energy_Desalination/Q6VEZSUv3eoC?hl=en&gbpv=1&printsec=frontcover (дата обращения: 15.01.2022).

Существующие доступные запасы пресной воды будут не в состоянии обеспечить рост водопотребления, что приведет к быстрому увеличению цены воды. Цена на природную воду будет приближаться к ценам на очищенную рециклированную воду в промышленности и ЖКХ, а также на опресненную воду из Мирового океана.

Физическая нехватка воды вынуждает все большее число стран рассматривать Мировой океан в качестве единственно возможного источника покрытия дефицита, а наметившаяся тенденция сближения цен природной и опресненной воды может превратить его в конкурента традиционных источников.

В 2020 г. стран, для которых опреснение морской воды являлось жизненной необходимостью, было 156⁸. Более 300 млн чел. зависят от опресненной воды. Опресненная вода использовалась: 66% — в сфере ЖКХ, 26% — в промышленности, 6% — в тепловых электростанциях, 2% — для ирригации⁹. В мире существует 17 тыс. опреснительных установок, ежедневно производящих 107 млн кубометров пресной воды¹⁰.

В настоящее время для опреснения соленой воды применяются две технологии: термическая, представляющая из себя выпаривание с последующей конденсацией пара, и мембранная, при которой соленая вода под давлением пропускается сквозь мембрану, задерживающую крупные ионы солей и пропускающую молекулы воды. Эти технологии могут быть реализованы несколькими способами. Термическая технология может иметь вид многоступенчатой дистилляции (Multistage flash distillation — MSF), множественной дистилляции (Multi-effect distillation — MED), сжатия пара (Vapor compression — VP), теплового и механического сжатия (Thermal and mechanical compression — TMVC). Мембранная технология, помимо мембранной дистилляции (Membrane distillation — MD), включает в себя два основных метода — обратного осмоса (Reverse osmosis — RO) и электродиализа (Electrodialysis — ED). Преобладают мембранные технологии как более производительные, менее энергоемкие (термические методы производят горячую воду) и постоянно совершенствующиеся (Табл. 2).

⁸ The Role of Renewable Energy Resources in Sustainability of Water Desalination as a Potential Fresh-Water Source. [https://sustainability-12-05-233-v2%20\(2\).pdf](https://sustainability-12-05-233-v2%20(2).pdf) (дата обращения: 14.01.2022).

⁹ The Role of Renewable Energy Resources in Sustainability of Water Desalination as a Potential Fresh-Water Source. [https://sustainability-12-05-233-v2%20\(2\).pdf](https://sustainability-12-05-233-v2%20(2).pdf) (дата обращения: 14.01.2022).

¹⁰ World Bank Group. The Role of Desalination in an Increasingly Water-Scare World. <https://idadesal.org/wp-content/uploads/2019/04/World-Bank-Report-2019.pdf> (дата обращения: 05.01.2022).

Таблица 2. Доля различных методов в опреснении соленых вод

Метод	Доля (%)
Обратный осмос	69
Электродиализ	6
Многоступенчатая дистилляция	18
Множественная дистилляция	7

Источник: The Role of Renewable Energy Resources in Sustainability of Water Desalination as a Potential Fresh-Water Source. [https://sustainability-12-05-233-v2%20\(2\).pdf](https://sustainability-12-05-233-v2%20(2).pdf) (дата обращения: 14.01.2022).

Опреснение — процесс крайне энергоемкий и экологически грязный. На производство одного кубометра пресной воды расходуется 12,5 тыс. кВтч электроэнергии¹¹. Для производства 1 тыс. кубометров необходимо сжечь 37 баррелей нефти, эмитировав в атмосферу 10 тонн диоксида углерода¹². По данным Международного энергетического агентства (МЭА), доля генерируемой электрической энергии, идущая на опреснение, в странах Ближнего Востока возрастает с 9% в 2016 г. до 16% в 2040 г. с почти двукратным увеличением эмиссии диоксида углерода¹³. Некоторые страны региона Персидского залива тратят на опреснение более половины вырабатываемой электроэнергии¹⁴. При быстром росте доли вырабатываемой электроэнергии, затрачиваемой на опреснение, водопотребление на тепловых электростанциях, обеспечивающих этот процесс, возрастет за указанный период на 60%¹⁵. Таким образом, сектор опреснения, функционирующий на ископаемом топливе, сам косвенно становится крупным потребителем пресной воды.

Глобальная эмиссия диоксида углерода сектора опреснения соизмерима с суммарными выбросами энергетики и транспорта крупной страны. В 2020 г. она составила 2018 млн т¹⁶. Преобразование сектора опреснения в постоянно растущего поставщика углерода в атмосферу противоречит Парижским соглашениям, принятым к исполнению в том числе и странами, испытывающими нехватку пресной воды. Единственным путем разрешения этого противоречия является подключение к стремительно разворачивающемуся в мире энергетическому переходу (energy transition), основным содержанием которого является декарбонизация в первую очередь энергетики. Более того, растущие масштабы опреснения, сопряженные с ростом потребления первичной энергии, могут оказаться не под силу многим странам, причем не только государствам-импортерам ископаемого топлива, но и его экспортерам. Выходом из складывающейся ситуации может стать интеграция процесса опреснения в энергетический переход.

Увеличение объемов опреснения морской воды обязательно потребует масштабных мер экологического характера. Сброс в море остающегося после опреснения морской воды рассола, как показывает практика, совершенно неприемлем, так как он губителен для морских

¹¹ World Bank Group. The Role of Desalination in an Increasingly Water-Scare World. <https://idadesal.org/wp-content/uploads/2019/04/World-Bank-Report-2019.pdf> (дата обращения: 05.01.2022).

¹² A review of the water desalination systems integrated with the renewable energy. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1876610217301686?toOpen=6756D3BFF2E4A766E91420635B998F0F2B08...> (дата обращения: 04.01.2022).

¹³ IEA. World Energy Outlook 2016. https://www.oecd-ilibrary.org/energy/world-energy-outlook-2016_weo-2016-en (дата обращения: 15.01.2022).

¹⁴ Desalination with Renewable Energy: A 24 Hours Operation Solution. <https://intechopen.com/books/water-and-wastewater-treatment/desalination-with-renewable-energy-a24-hours-operation-solution> (дата обращения: 29.12.2021).

¹⁵ Ibid.

¹⁶ Fresh water; fresh ideas. Can renewable energy be the future of desalination. <https://alj.com/en/perspective/fresh-water-fresh-ideas-can-renewable-energy-be-the-future-of-desalination/> (дата обращения: 04.01.2022).

организмов и кораллов. Утилизация этого рассола в резервуарах-испарителях и глубоких колодцах (ниже уровня грунтовых вод) будет «добавлять» к цене одного кубометра опресненной воды еще 1,5–2,5 долл., делая такую воду неконкурентоспособной, поскольку значительно дешевле будут выходить поставки пресной воды за тысячи километров из водоизбыточных регионов¹⁷. Львиная доля в этой «прибавке» будет приходиться на энергию. Поэтому переход на «бесплатную» энергию от ВИЭ — безальтернативный путь разрешения этой проблемы.

Все регионы Востока заинтересованы в декарбонизации своей энергетики, что нашло отражение в многочисленных национальных программах. Помимо обязательств в рамках Парижских соглашений, стремления снизить затраты на энергетический импорт (для импортеров) и освободить как можно больше энергоресурсов для экспорта (для экспортеров), многие государства подталкивает к этому введение Европейским союзом углеродного налога, который существенно ухудшит конкурентные позиции их экспортных товаров.

В декарбонизации энергетики (а с ней — систем опреснения на ВИЭ) в наибольшей степени заинтересованы, как это ни парадоксально, Ближний Восток и Северная Африка. Существующая здесь многие годы модель энергопотребления может стать препятствием экономическому росту как в странах нетто-экспортерах энергоресурсов, так и в государствах-импортерах. Этот регион — не только основной поставщик первичных энергоносителей и главный «хранитель» мировых запасов ископаемого топлива, но и главный «энергорасточитель» и один из главных поставщиков углерода в атмосферу, поскольку региональные правительства, во-первых, субсидируют цену на энергию вопреки законам рынка, поощряя неумеренное потребление, во-вторых, реализуют чрезвычайно энергоемкие и водоемкие проекты индустриализации и диверсификации, опираясь на низкую себестоимость местных энергоресурсов. Реализация такой хозяйственной модели требует огромных ежегодных инвестиций, и их доля в ВВП постоянно растет, так как за счет стагнации или даже уменьшения экспорта первичных энергоносителей сокращается основной источник формирования регионального ВВП — энергосырьевой экспорт.

К 2050 г. годовая потребность региона Ближнего Востока и Северной Африки в опресненной воде составит 200 куб. км.¹⁸ Если этот объем будет получен опреснением при помощи ископаемого топлива, то ежегодные выбросы диоксида углерода составят 360 млн т, то есть около 20% нынешних кумулятивных выбросов региона¹⁹. При этом ежедневное внутреннее потребление нефти, например, в Саудовской Аравии может достичь 8 млн баррелей (из добываемых 12 млн баррелей)²⁰.

Развитие альтернативной энергетики — единственный способ избежать «энергетического проклятия» изобилующего самыми дешевыми энергоресурсами региона. Условия для этого исключительно благоприятны: на регион приходится 26% солнечной энергии, достигающей поверхности Земли²¹. На один квадратный километр территории здесь в течение года поступает лучистая энергия, эквивалентная 2 млн баррелей нефти²². Каждый квадратный метр

¹⁷ Esmailion 2020. Hybrid Renewable Energy Systems for Desalination. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-020-1168-5> (дата обращения: 14.01.2022).

¹⁸ World Bank. Renewable Energy Desalination. An Emerging Solution to Close the Water Gap in the Middle East and North Africa. https://www.google.ru/books/edition/Renewable_Energy_Desalination/Q6VEZSUv3eoC?hl=en&gbpv=18printsec=frontcover (дата обращения: 15.01.2022).

¹⁹ Ibid.

²⁰ Ibid.

²¹ Squire Sanders. The Future for Renewable Energy in the MENA Region. Clean Energy Pipeline. URL: <https://www.cleanenergypipeline.com/.../the%20future%20for%20r> (дата обращения: 08.09.2020).

²² Ibid.

поверхности в регионе получает 5–7 тыс. кВтч²³ солнечной энергии (в пересчете на электрическую энергию) в день. Чтобы выработать такое количество электроэнергии, необходимо сжечь 0,7–0,8 т СПГ, выбросив в атмосферу 0,9–1,2 т диоксида углерода²⁴. Эта «бесплатная» энергия способна обеспечить выработку 650–900 кубических метров опресненной воды²⁵.

Регион изобилует свободными незаселенными и неиспользуемыми площадями, что важно для развития альтернативной энергетики. Территория площадью 10x10 км в Аравийской пустыне способна обеспечить энергией опреснение 1 куб. км воды²⁶. Гелиоэнергетический потенциал БСВ и СА в 350 раз превышает нынешние потребности региона в электрической энергии²⁷.

Суммарный ветровой потенциал региона также крупнейший в мире. Он в состоянии на 25% обеспечить его нынешнее энергопотребление²⁸.

В большинстве регионов муссонной Азии (Южная, Восточная, Юго-Восточная Азия) также начинает ощущаться нехватка пресной воды в сухой сезон. Это связано с их быстрой индустриализацией и ростом численности населения крупных городов, расположенных в основном вблизи побережья. Вместе с тем все эти регионы являются энергодефицитными, и наращивание мощностей традиционного опреснения будет сопряжено с увеличением импорта энергоносителей. Для поддержания высоких темпов экономического роста азиатским странам необходимо иметь резко положительное сальдо внешнеторгового баланса, притом что энергоносители составляют значительную долю в их импорте. Поэтому государства региона в своих планах первоочередное место отводят развитию возобновляемой энергетики. Природные предпосылки для этого весьма благоприятны. Многие азиатские страны являются лидерами энергетического перехода, охватывающего все большее число отраслей и секторов экономики — энергетику, промышленность, транспорт, ЖКХ. Сектор опреснения, очевидно, не избежит аналогичной трансформации.

В настоящее время с помощью возобновляемых источников энергии получают лишь 0,2% опресненной воды²⁹. Единственной причиной этого длительное время являлась неконкурентоспособность ВИЭ. Однако в последние годы стоимость электроэнергии, выработанной от ВИЭ, практически сравнялась со стоимостью тепловой электрогенерации во многих регионах мира, что и обусловило начало энергетического перехода. Если стоимость опресненной воды, полученной традиционным способом, остается практически неизменной — 0,8–0,9 долл. за кубометр, то цена пресной воды, произведенной при помощи ВИЭ, неуклонно снижается — с 2,5–2,7 долл. за кубометр в 2013 г. до 1,3 долл. в 2019 г.³⁰ При этом по мере амортизации опреснительных установок на основе ВИЭ цена производимой пресной воды снижается, поскольку в структуре стоимости такой воды преобладают капитальные инвестиционные затраты при практически нулевых затратах на энергию (Табл. 3). Согласно прогнозам

²³ Energy and Air Emission Effects of Water Supply. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es801802h> (дата обращения: 15.12.2020).

²⁴ Ibid.

²⁵ Ibid.

²⁶ World Bank. Renewable Energy Desalination. An Emerging Solution to Close the Water Gap in the Middle East and North Africa. https://www.google.ru/books/edition/Renewable_Energy_Desalination/Q6VEZSUv3eoC?hl=en&gbpv=18printsec=frontcover (дата обращения: 15.01.2022).

²⁷ Ibid.

²⁸ Ibid.

²⁹ Water Desalination Using Renewable Energy. <http://documents1.worldbank.org/curated/en/476041552622967264/pdf/135312-WP-PUBLIC-14-3-2019-12-3-35-W.pdf> (дата обращения: 14.01.2022).

³⁰ Esmaeilion 2020. Hybrid Renewable Energy Systems for Desalination. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-020-1168-5> (дата обращения: 14.01.2022).

Мирового банка, к 2050 г. большая часть опреснительных установок в мире будет функционировать от ВИЭ, а средняя стоимость опресненной воды составит 0,9 долл. (в ценах 2015 г.)³¹.

Таблица 3. Структура стоимости воды, опресненной при помощи электроэнергии от тепловых электростанций и от возобновляемых источников энергии

Способ опреснения	Инвестиционные затраты (%)	Операционные затраты (%)	Энергетические затраты (%)
С помощью ТЭС	22–27	14–15	59–63
С помощью ВИЭ	30–90	10–30	0–10

Источник: Esmaeilion 2020. Hybrid Renewable Energy Systems for Desalination. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-020-1168-5> (дата обращения: 14.01.2022).

Во многих афро-азиатских регионах, где немало населенных участков побережья лишены одновременно топливных и водных ресурсов, транспортировка ископаемого топлива выходит дороже, чем установка там мощностей ВИЭ, и еще дороже обходится транспортировка туда воды с опреснительных установок, работающих на ископаемом топливе (Табл. 4). В вододефицитных странах на транспортировку воды от ее источников расходуется до 4% генерируемой электроэнергии³². Ближневосточный город с населением около 50 тыс. чел. расходует на свое водоснабжение порядка 2 млн кВтч в год (1,6 млн кВтч потребляют насосы)³³. Опреснение не только морской, но и засоленной грунтовой воды на основе распределенной генерации позволит сократить огромное количество потребляемой электроэнергии и удешевить воду.

Таблица 4. Цена транспортировки опресненной морской воды до некоторых населенных пунктов Востока

Город	Расстояние до побережья (км)	Высота над уровнем моря (м)	Расходы на транспортировку воды (долл./куб. м)
Пекин	135	100	1,1
Сана	135	2500	2,2
Эр-Рияд	350	750	1,6
Нью-Дели	1050	500	1,9

Источник: The Role of Renewable Energy Resources in Sustainability of Water Desalination as a Potential Fresh-Water Source. [https://sustainability-12-05-233-v2%20\(2\).pdf](https://sustainability-12-05-233-v2%20(2).pdf) (дата обращения: 14.01.2022).

Распределенная энергетика развивается значительно быстрее энергетики централизованной. К 2030 г. 75% новых подключений, по мнению Международного энергетического агентства

³¹ World Bank Group. The Role of Desalination in an Increasingly Water-Scare World. <https://idadesal.org/wp-content/uploads/2019/04/World-Bank-Report-2019.pdf> (дата обращения: 05.01.2022).

³² World Bank. Renewable Energy Desalination. An Emerging Solution to Close the Water Gap in the Middle East and North Africa. https://www.google.ru/books/edition/Renewable_Energy_Desalination/Q6VEZSUv3eoC?hl=en&gbpv=18printsec=frontcover (дата обращения: 15.01.2022).

³³ Ibid.

(МЭА), будет приходиться на распределенные источники³⁴. Развитие распределенной энергетики на 98% идет за счет афро-азиатских стран³⁵.

Причиной опережающего роста распределенной энергетики на основе ВИЭ в Азии и Африке является необходимость скорейшей электрификации с минимальными затратами многочисленных обширных малоосвоенных удаленных территорий. Эти же территории более других ощущают нехватку пресной воды. Дальнейшее их развитие требует не только электрификации, но и формирования систем водоснабжения. Таким образом, создание опреснительных систем на основе ВИЭ — неперенный атрибут будущей экономической динамики таких регионов. Децентрализованное, автономное развитие в них возобновляемой энергетики имеет целый ряд неоспоримых выгод. Поскольку агрегаты ВИЭ компактны и уже готовы к эксплуатации, нет необходимости в масштабном строительстве, подвозе габаритного оборудования и стройматериалов, специальном строительстве дорог, а главное — подвозе топлива. Нет также необходимости в строительстве ЛЭП, что снижает капитальные затраты, а также потери в сетях (которые доходят до 20% генерируемой электроэнергии).

Распределенное опреснение имеет важное экологическое преимущество. Небольшие распределенные опреснительные установки могут оптимально использовать природные условия избранной локации, нанося минимальный урон морской биоте, поскольку забор больших объемов морской воды мощными традиционными опреснительными станциями является еще одним «углеродным следом» опреснения на базе тепловой электрогенерации, так как уничтожаемый фитопланктон — важнейший продуцент кислорода и поглотитель диоксида углерода.

Среди методов опреснения на основе ВИЭ еще более, чем в случае традиционного опреснения, преобладают технологии обратного осмоса, а среди поставщиков энергии доминируют солнечные установки, поскольку они предоставляют наибольшие возможности для мелкомасштабного распределенного опреснения (Табл. 5).

Таблица 5. Доли различных методов опреснения на основе возобновляемых источников энергии

Методы опреснения	Доля в опреснении (%)
Обратный осмос на основе фотовольтаники	43
Обратный осмос на основе гелиотермальной энергетики	7
Многоступенчатая дистилляция на основе гелиотермальной энергетики	20
Обратный осмос на основе ветряной энергетики	20
Гибридный метод	10

Источник: Esmaeilion 2020. Hybrid Renewable Energy Systems for Desalination. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-020-1168-5> (дата обращения: 14.01.2022).

Тенденция к росту объемов опреснения преимущественно от солнечной и ветряной электрогенерации коррелирует со структурой потенциала ВИЭ в большинстве стран Востока (Табл. 6). В соответствии с государственными программами гелио- и ветроэнергетика развиваются

³⁴ EIA. International Energy Outlook. URL: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/ieo2019.pdf> (дата обращения: 19.09.2020).

³⁵ Ren 21. Renewables 2019. Global Status Report. URL: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report.en.pdf (дата обращения: 15.09.2020).

во многих странах региона (Марокко, ОАЭ, Катар, Саудовская Аравия, Иордания, Египет, КНР, Индия) наивысшими в мире темпами.

Таблица 6. Структура возобновляемого энергопотенциала стран Востока (ТВтч)

Страна	Энергетический потенциал					
	Солнечный общий	Фотовольта- нический	Ветряной	Геотермаль- ный	Гидравли- ческий	Биомасса
Алжир	136	21	35	5	0	12
Ливия	83	18	15	0	0	2
Сауд. Аравия	76	21	20	71	0	10
Египет	57	54	125	26	50	14
Иран	32	54	12	11	48	24
Ирак	25	35	20	0	67	7
Оман	14	4	8	0	0	1
Сирия	8	17	15	0	4	5
Марокко	18	17	35	10	4	14
Иордания	6	7	5	0	0	2
Тунис	6	4	8	3	0	3
Кувейт	3	4	5	0	0	1
Катар	5	1	5	0	0	0
ОАЭ	6	9	0	0	0	1
Джибути	3	5	1	0	0	0
Израиль	2	6	1	0	7	2
Бахрейн	1	1	1	0	0	0
Ливан	1	0	1	1	1	1
Йемен	8	19	3	107	0	10
Всего:	471	252	302	233	181	111

Источник: World Bank. Renewable Energy Desalination. An Emerging Solution to Close the Water Gap in the Middle East and North Africa. https://www.google.ru/books/edition/Renewable_Energy_Desalination/Q6VEZSUv3eoC?hl=en&gbpv=1&printsec=frontcover (дата обращения: 15.01.2022).

В существующих экономических условиях, а также при наметившейся тенденции к повышению испаряемости и иссушению крупных регионов Востока форсированное развитие систем опреснения в вододефицитных странах представляется необходимым и неизбежным. По оценкам Мирового банка, компенсация ежегодного дефицита пресной воды в 200 куб. км будет обходиться в 104 млрд долл., а бездействие в решении водной проблемы будет «стоять» еще 300–400 млрд долл.³⁶ Следование традиционным путем ликвидации дефицита пресной воды неприемлемо с экономической и экологической сторон. Реальная альтернатива — интеграция систем опреснения в энергетический переход.

³⁶ World Bank. Renewable Energy Desalination. An Emerging Solution to Close the Water Gap in the Middle East and North Africa. https://www.google.ru/books/edition/Renewable_Energy_Desalination/Q6VEZSUv3eoC?hl=en&gbpv=1&printsec=frontcover (дата обращения: 15.01.2022).

Электронные ресурсы / Electronic sources

A review of the water desalination systems integrated with the renewable energy. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1876610217301686?toOpen=6756D3BFF2E4A766E91420635B998F0F2B08...> (дата обращения: 04.01.2022).

Desalination with Renewable Energy: A 24 Hours Operation Solution. <https://intechopen.com/books/water-and-wastewater-treatment/desalination-with-renewable-energy-a24-hours-operation-solution> (дата обращения: 29.12.2021).

EIA. International Energy Outlook. URL: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/ieo2019.pdf> (дата обращения: 19.09.2020).

Esmailion 2020. Hybrid Renewable Energy Systems for Desalination. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-020-1168-5> (дата обращения: 14.01.2022).

Energy and Air Emission Effects of Water Supply. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es801802h> (дата обращения: 15.12.2020).

Fresh water; fresh ideas. Can renewable energy be the future of desalination. <https://alj.com/en/perspective/fresh-water-fresh-ideas-can-renewable-energy-be-the-future-of-desalination/> (дата обращения: 04.01.2022).

IEA. World Energy Outlook 2016. <https://www.oecd-ilibrary.org/energy/world-energy-outlook-2016-weo-2016-en> (дата обращения: 15.01.2022).

Ren 21. Renewables 2019. Global Status Report. URL: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report.en.pdf (дата обращения: 15.09.2020).

Squire Sanders. The Future for Renewable Energy in the MENA Region. Clean Energy Pipeline. URL: <https://www.cleanenergypipeline.com/.../the%20future%20for%20r> (дата обращения: 08.09.2020).

The Role of Renewable Energy Resources in Sustainability of Water Desalination as a Potential Fresh-Water Source. [https://sustainability-12-05-233-v2%20\(2\).pdf](https://sustainability-12-05-233-v2%20(2).pdf) (дата обращения: 14.01.2022).

United Nations Environment Programme. Options for Developing Economic Growth from Water Use and Water Pollution. <https://resourcepanel.org/reports/options-decoupling-economic-growth-water-use-and-water-pollution> (дата обращения: 23.01.2022).

World Bank Group. The Role of Desalination in an Increasingly Water-Scare World. <https://idadesal.org/wp-content/uploads/2019/04/World-Bank-Report-2019.pdf> (дата обращения: 05.01.2022).

Water Desalination Using Renewable Energy. <http://documents1.worldbank.org/curated/en/476041552622967264/pdf/135312-WP-PUBLIC-14-3-2019-12-3-35-W.pdf> (дата обращения: 14.01.2022).

World Bank. Renewable Energy Desalination. An Emerging Solution to Close the Water Gap in the Middle East and North Africa. https://www.google.ru/books/edition/Renewable_Energy_Desalination/Q6VEZSUv3eoC?hl=en&gbpv=18printsec=frontcover (дата обращения: 15.01.2022).