

Водные ресурсы Израиля: опыт освоения

Николай С. Орловский^а, Игорь С. Зонн^б

^а *Институт изучения пустынь им. Блауштейна
Университета Неgev им. Бен-Гуриона, Израиль,
nicolai@bgu.ac.il*

^б *Инженерный научно-производственный центр по водному хозяйству
Мелиорации и экологии «Союзводпроект», Москва, Россия,
igorzonn@yandex.ru*

Аннотация: Израиль — страна на Ближнем Востоке, состоящая на 95% из засушливых районов, где более 60% территории занимает пустыня Неgev. Поэтому водные ресурсы страны крайне ограничены и формируются в основном за счет атмосферных осадков. Средний объем атмосферных осадков за период с 1989 по 2005 год составил 6 млрд. м³. Из этого количества 60–70% испаряется вскоре после выпадения дождя, не менее 5% по руслу рек стекает в море (в основном зимой). Из оставшихся 25% влаги, которая впитывается в почву, значительное количество также попадает в моря с подземным стоком. Общие запасы воды в Израиле можно разделить на два природных водных источника: поверхностный и подземный. Израиль небогат поверхностными водами. Природный резервуар поверхностной пресной воды, один — это расположенное на северо-востоке страны озеро Кинерет, питающееся в основном за счет р. Иордан и его притоков. Среднегодовой объем доступной воды озера составляет примерно 370 млн. м³, что обеспечивает одну треть потребностей страны в воде и более высокую долю потребностей в питьевой воде. Большая часть пресной воды (37% водоснабжения Израиля в 2011 г.) в Израиле добывается из подземных источников. Ввиду ограниченности доступных природных ресурсов, неравномерности осадков по годам и сезонам, по мере роста населения и экономического развития возрастает актуальность проблемы обеспечения населения качественной питьевой водой, а также сельского хозяйства, промышленности и реабилитации природных объектов. Из-за нехватки водных ресурсов предпринимались постоянные усилия по повышению эффективности орошения и сокращению использования воды за счет повышения эффективности методов орошения и использования передовых методов управления системой. В числе водосберегающих технологий в Израиле стоит упомянуть: капельное орошение, продвинутая фильтрация, прогрессивные методики обнаружения утечек воды из сетей, системы сбора и обработки дождевой воды, а также измерение расхода воды, политика ценообразования на воду, переход на высокоценные культуры, повторное использование термальных вод, компьютеризация и дистанционное управление ирригацией. Постоянно осуществляется поиск новых методов получения пресной питьевой воды. Водосбережение является самым надежным и наименее дорогостоящим способом расширения водных ресурсов страны, и эта задача выполняется во всех секторах.

В 1964 г. в Израиле завершил сооружение системы водоснабжения — Национальный Все-израильский водовод, который учитывал следующие факторы: добиваться надежной компенсации разницы в поступлении воды в различных регионах (север и юг), в различные времена года (зима и лето) и в различные годы (с достаточным и недостаточным количеством осадков).

Израильское правительство инициировало в 1999 г. долгосрочную крупномасштабную программу опреснения морской воды для производства питьевой воды для внутреннего потребления. Обратный осмос был принят как ведущий метод опреснения солоноватой и морской воды. В настоящее время существует пять опреснительных установок для морской воды, которые обеспечивают около 600 млн. м³ опреснительной воды в год, что эквивалентно примерно 42% потребностей страны в питьевой воде.

В Израиле принят Генеральный план развития водного хозяйства на период 2010–2050 гг., который покрывает водный дефицит за счет полной очистки сточных вод и строительства дополнительных объектов опреснения морской воды до 1500 млн. м³ к 2050 г. Любая дополнительная опресненная вода, которая станет доступной в течение этих лет, будет использоваться для пополнения природных систем водоснабжения Израиля.

Ключевые слова: Израиль, водные ресурсы, орошение, водоснабжение, опреснение морской воды, водная политика и экономика

Для цитирования: Орловский Н. С., Зонн И. С. Водные ресурсы Израиля: опыт освоения. *Проблемы постсоветского пространства*. 2018;5(1): 8-36. DOI:10.24975/2313–8920–2018–5–1–8–36

Water Resources of Israel: Trackrecord of the Development

Nicolai S. Orlovsky^a, Igor S. Zonn^b

^a *Blaustein Institute for Desert Research
Ben-Gurion University of the Negev, Israel,*

nicolai@bgu.ac.il

^b *Engineering Research Production Center on Water Management,
Land Reclamation and Ecology “Sojuzvodproject”, Moscow, Russia,*

igorzonn@yandex.ru

Abstract: Israel is a country in the Near East consisting for 95% of the arid regions in which 60% of the territory are covered by the Negev Desert. Therefore, the water resources are scant here and formed mostly by atmospheric precipitations. In the period from 1989 to 2005 the average precipitations were 6 billion cu. m, of which 60–70% were evaporated soon after rainfalls, at least 5% run down by rivers into the sea (mostly in winter) and the remaining 25% of precipitations infiltrated into soil from where the greater part of water got into the sea with ground waters. In Israel there are two groups of water resources: surface and underground. Israel is not rich in

surface waters. The natural reservoir of surface fresh water is the Kinneret Lake in the northeast of the country. It gets water from the Jordan River and its tributaries. The average annual amount of available water of this lake is around 370 million cu. m, which accounts for one-third of the country's water needs and still higher share of the drinking water needs.

The greater part of fresh waters (37% of water supply of Israel as of 2011) in this country is supplied from ground water sources. Owing to insufficiency of available natural resources, unevenness of precipitations by years and seasons and with the growth of the population and economic development the issues of provision with the quality drinking water of the population as well as agriculture and industry, rehabilitation of natural environment cause permanently growing concern. In view of the water shortage untiring efforts have been taken to improve the irrigation efficiency and to reduce water use by improving the efficacy of irrigation techniques and application of advanced system management approaches.

Among the water saving technologies applied in Israel there are: drop irrigation, advanced filtration, up to date methods of water leak detection from networks, rainwater collection and processing systems. At the same time such measures as water flow measurements, policy of water price formation, changeover to cultivation of valuable crops, thermal water recycling, computer-based and remotely controlled irrigation are also applied. The search for new techniques of fresh water production is going on. Water saving is considered the most reliable and less costly method to increase water resources of the country, And this task is being accomplished in all sectors.

In 1964 the National Water Carrier of Israel was constructed. The main task of this project is to achieve the reliable compensation of the difference between water income in various regions (north and south), in different seasons (summer and winter) and in different years (with sufficient and insufficient precipitations).

In 1999 the Israel government initiated the long-term large-scale program of sea water desalination for production of drinking water for internal use. Reverse osmosis was adopted the basic technique for desalination of brackish and sea water. Currently there are five sea water desalination plants producing about 600 million cu. m of desalinated water per year which is equivalent to approximately 42% of the country's drinking water needs.

Israel adopted the General Plan of Water Economy Development for 2010–2050, which envisages complete coverage of water deficit by way of entire wastewater treatment and construction of additional sea water desalination facilities with a capacity to 1500 million cu. m by 2050. Any additional desalinated water that may become available in these years will be used for replenishing the water supply in Israel.

Keywords: Israel, water resources, irrigation, water supply, sea water desalination, water policy and economics

For citation: Orlovsky N.S., Zonn I.S. Water Resources of Israel: Trackrecord of the Development. *Post-Soviet Issues*. 2018;5(1):8-36. DOI:10.24975/2313–8920–2018–5–1–8–36

ВВЕДЕНИЕ

Обеспеченность водными ресурсами является одной из неперенных составляющих национальной безопасности. Однако в большинстве стран, расположенных в засушливых условиях, к которым относятся Северная Африка, Аравийский и Индостан-

ский полуострова, проблема заключается в том, что естественные ресурсы воды не соответствуют в количественном отношении, т. е. весьма ограничены, возникающим задачам, обусловленным социальным и экономическим программам. Дефицит водных ресурсов заставляет эти страны постоянно искать и разрабатывать водосберегающие мероприятия и технологии, и все это в условиях порой враждебности друг к другу, где водные ресурсы играют не последнюю роль. Среди этого мегарегиона исключением является Израиль, где его Водная Администрация заявляет «У нас недостаточно воды для всех наших нужд». Дефицит водных ресурсов и враждебное окружение вынуждает Израиль стремиться к максимальной возможной самообеспеченности. Эту проблему страна решает с помощью мозгов и политической зрелости [1]. Иными словами, используется интеллектуальный багаж своих соотечественников [2]. Израиль сумел достигнуть сочетания эффективного использования водных ресурсов, их переработки, инновационных методов ведения сельского хозяйства и высокотехнологичного опреснения морских вод, что и вывело Израиль в мировые лидеры по эффективному использованию дефицитных водных ресурсов. В Израиле вода — это стратегия, безопасность и независимость.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Водные ресурсы Израиля весьма ограничены из-за географического положения и климатических условий. Израиль расположен на юго-западной оконечности Азиатского континента, на восточном побережье Средиземного моря. Его общая площадь 22 072 км² и вытянута с севера на юг на 470 км и около 135 км с востока на запад в самой широкой точке. Израиль расположен на перекрестке трех биогеографических регионов — средиземноморском,

ирано-туранском и сахаро-аравийском. Климатическая особенность, общая для этих трех регионов — короткая, прохладная дождливая зима и продолжительное жаркое сухое лето.

Среднегодовой период дождей длится от пяти до семи месяцев (с октября по апрель), однако, основное количество осадков выпадает в зимние месяцы — 85–90%. Число дождливых дней в месяц колеблется от 2–3 на крайнем юге, 6–15 в центральной части и 20–30 дней на севере пустыни Негев, 40–60 дней в центре страны и 60–70 дней на севере [3]. Осадки в течение дня выпадают периодически и могут длиться от 2–3 до 10 часов, преимущественно в виде ливней. В водообильные годы период дождей имеет примерно такую же продолжительность, но количество дождливых дней и интенсивность осадков возрастают. В маловодные годы сезон дождей сокращается до 1,5–2 месяцев, число дождливых дней и особенно интенсивность осадков значительно снижаются. По стране количество осадков уменьшается с севера на юг и с запада на восток и изменяется (средний год) от 1000 мм горах на севере, 500–600 мм в центре до 25 мм на юге (Рис. 1). Только на 14% площади выпадает осадков более 600 мм в год, на 18% — от 400 до 600 и 34% территории получает менее 100 мм осадков в год [4]. Кроме того, количество осадков значительно колеблется как внутри года, так и от года к году — нередки засушливые годы. (Рис. 1)

В то же время эвапотранспирация увеличивается от 1200 мм на севере до 2800 мм на юге. Длительное, жаркое и сухое лето, которое наблюдается по всему Израилю, и преобладание транспирации над атмосферными осадками способствуют формированию сухих полувлажных, полусухих, засушливых и сверх засушливых земель на 95% территории Израиля. Только



Рис. 1. Распределение осадков и эвапотранспирации по территории Израиля

несколько высокогорных районов на севере страны можно считать влажными.

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ (ВВР)

За счёт атмосферных осадков, объем которых изменяется от 3,1 млрд м³ в засушливые годы (сезон 1998/99) до 11,3 млрд м³ в водообильные годы (сезон 1991/92), формируются возобновляемые водные ресурсы Израиля [5]. Средний объем выпадающих осадков за последние 20 лет составил 6,23 млрд м³ [6]. Из этого количества 60–70% испаряется не менее 5% по руслам рек стекает в море (в основном зимой), 25% проникает в грунты, местами скапливаясь над пластами водонепроницаемых глин и мер-

геля, а затем часть их в виде подземных вод направляются к Средиземному морю или к Иорданской впадине, порой выходя на поверхность в виде родников или ключей.

Объем ВВР был оценен в середине XX в. в районе 3 млрд м³ в год. Анализ данных за период с 1976 по 2009 гг. показал [7] две особенности ВВР Израиля: высокие временные колебания и тенденцию к снижению. Тенденция к снижению в среднем составила 8,92 млн м³ в год и может быть результатом климатических изменений, а временные колебания пресных ВВР за этот период были в пределах от 4 млн м³ до 900 млн м³ при средней величине 1547 млн м³/год.

Серия последовательных сухих лет с 1993 г. внесла коррективы в объемы ВВР. По данным Гидрологической службы Израиля [8] объем пресных ВВР составляет в настоящее время 1451 млн м³/год. В общей сложности 325 млн м³ в год дополнительных потерь приходится на воду, которая просачивается в землю, и стекает в море, а не просачивается в землю, чтобы достичь водоносного горизонта. С учетом этих потерь, только 1100 млн м³/год пресной воды доступны для использования. Предполагается, что 100 млн м³/год солоноватой воды можно будет в дальнейшем обработать до состояния пресной и довести доступный объем израильскому водному сектору до 1200 млн м³ пресной воды.

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Общие запасы воды в Израиле можно разделить на два природных водных источника: поверхностный и подземный. Поверхностных вод немного, так как Израиль не имеет больших рек, а те, которые имеются, большинство из них прерывистые или полностью сухие в течение года. Кроме того, некоторые реки, имеющие когда-то чистую воду, высохли в период засух, в то время как

другие стали загрязненными и больше не могут служить источниками пресной воды. Только две реки, Иордан и Яркон, относятся к постоянным водотокам. Природный резервуар поверхностной пресной воды, находящейся в Израиле один — это расположенное на северо-востоке озеро Кинерет (Генисаретское или Тивериадское, в библейской традиции известное также как море Галилейское), питающееся в основном за счет р. Иордан и его притоков. Это самое низкое в мире пресноводное озеро, расположенное на 208 м ниже уровня Мирового океана.

Водосборный бассейн оз. Кинерет охватывает 2 730 км², из которых 780 км² находятся в Сирии и Ливане, включает в себя четыре различные гидрогеологические единицы: гору Хермон на севере, Голанские высоты на востоке, восточные горы Галилеи на западе и долину р. Хулы в центральной части водораздела [9]. Средняя площадь водного зеркала озера 168,7 км², максимальная глубина — 41,7 м. Запасы пресной воды в озере составляют 4 325 млрд. м³ [10]. Диапазон уровня воды от минус 208,8 м (верхняя «красная линия») до минус 214,87 м («черная линия»).

Основной источник воды для озера (до 70%) формируется в верховьях р. Иордан на водосборной площади 1700 км², из которых 920 км² находятся на территории Израиля, а остальные в Сирии и Ливане. Река Иордан имеет истоки в трех странах, река Снир (Хасбани) (сток — 0,125 км³/год) берет начало в Южном Ливане, река Дан (0,250 км³/год) — в северном Израиле, и река Баниас (Хермон) (0,125 км³/год) — на Голанских высотах. Эти реки сходятся в Израиле и образуют реку Иордан, впадающую в озеро Кинерет.

Река Иордан — относительно небольшая, ее длина 252 км. Вместе с тем она имеет жизненно важное значение для пяти государств: Ливана, Сирии, Иордании, Изра-

иля и Палестины. После слияния трех рек на высоте 90 м выше у-214,87 м («черная линия»). «Черная линия» — это минимальный уровень воды в озере, при достижении которого из него уже нельзя выкачивать воду, чтобы не произошли необратимые гидрологические изменения. Рабочий объем озера расположен между верхней «красной линией» и нижней «красной линией», которая находится на отметке -213,0 м, составляет от 500 до 700 млн. р. м. Иордан впадает в озеро Хула, а затем в озеро Кинерет. После Кинерета река течет на протяжении 210 км по Иорданской долине и впадает в Мертвое море. Южнее озера Кинерет в Иордан впадает р. Ярмук (ок. 450 млн. м³/год), воды которой с 1964 г. по соглашению с Иорданией отводятся большей частью для орошения ее земель, и лишь в небольшом количестве поступают для нужд орошения в долину Бет-Шеан и в Иорданскую долину Израиля.

Кроме реки Иордан, Кинерет принимает воды многочисленных карстовых пресных и соленых источников, а также небольших ручьев с южной части Голанских высот к востоку от озера и с восточных районов Галилеи к западу от озера. Озеро также подпитывается напорными подземными водами. Средний годовой приток воды в Кинерет за период 1985–2009 гг. составил 610 млн. м³, включая 415 млн. м³ из р. Иордан, 65 млн. м³ атмосферных осадков и 125 млн. м³ с источников, поступающих непосредственно в море. В среднем с водной поверхности озера испаряется 240 млн. м³/год. Таким образом, среднегодовой объем доступной воды составляет примерно 370 млн. м³, из которых 270 млн. м³ закачивалось в национальный водовод, 45 млн. м³ потреблялось на местах и примерно 55 млн. м³ воды поступало в нижнее течение р. Иордан в сторону Мертвого моря [6].

Анализ показал [11, 8], что за 40 лет, с 1975 по 2016 г., объем доступной для

использования воды из озера сократился в среднем от 490 млн. м³ в год в 1970-х годах до 290 млн. м³ в год с 2000-х годов: на 170 млн. м³/год уменьшился за этот период объем ВВП и до 30 млн. м³ в год увеличилось потребление воды. Израиль шестой год подряд испытывает экстремальные засухи, что вызвало постоянное уменьшение уровня

воды в озере от года к году (Рис. 2). Ожидается, что величина, интенсивность и продолжительность засух будут увеличиваться в будущем. Глобальное потепление может привести к сокращению притока воды в озеро со средней скоростью 3 млн. м³/год и увеличить на 0.4 млн. м³ в год испаряемость с его водной поверхности [12].

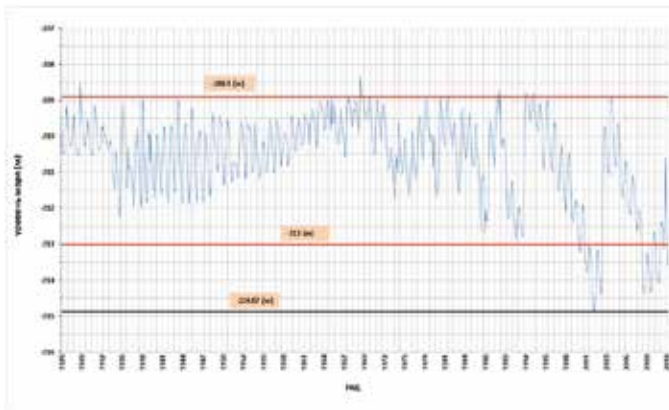


Рис. 2. Изменение уровня озера Кинерет с 1926 года

Несмотря на то, что Управление водными ресурсами за последние четыре года не забирало воду из озера, его уровень по данным на 20 января 2018 г находился на отметке 214,205 м ниже ур. м. Это на 5,40 м ниже верхней «красной линии» и на 1,2 м ниже нижней «красной линии» и на 0,67 м выше исторического минимума уровня воды, когда-либо измеренного в озере. На конец января 2018 г. Кинерет получил лишь 77% среднегодовой нормы осадков и лишь 35% в обще сезонном исчислении. Уменьшение притока воды в озеро имеет далеко идущие последствия. По мере снижения уровня воды соленость пресноводного озера повышается, что создает опасность для рыб и других морских обитателей. Недостаток притока воды также означает, что Израиль может оказаться не в состоянии выполнить свои обяза-

тельства по пропуску воды в Мертвое море. В ответ на продолжающиеся засухи Правительство Израиля обсуждает необходимость построить еще два опреснительных завода на севере страны, увеличить мощность существующих опреснительных установок, а также уменьшить расходы на полив общественных парков и провести разъяснительную кампанию среди населения по сокращению потребления питьевой воды.

Большая часть пресной воды (37% водоснабжения Израиля в 2011 г.) в Израиле добывается из двух крупных подземных водоносных горизонтов: Прибрежный и Горный. Вода в них частично восполняется за счёт дождей, но также и искусственно — за счёт захвата и перенаправления паводков и закачки предварительно отфильтрованных и обеззараженных сточных вод. Ис-

кусственное пополнение касается, прежде всего, Прибрежного горизонта. Именно он является одним из основных источников подземных вод в Израиле. Этот водоносный горизонт простирается вдоль 120 км средиземноморского побережья от склонов горы Кармель на севере до Синая на юге и от подножия гор на востоке до моря на западе. Водоносный горизонт является ценным резервуаром для хранения воды, за счет слоев песчаника эффективно удерживающих воду. Он в среднем обеспечивает поступление около 250 млн. м³ воды ежедневно или приблизительно 20% всех выкачиваемых здесь подземных вод.

В последние десятилетия из этого водоносного горизонта откачивают значительно больше воды, чем это допустимо для его нормальной эксплуатации, что приводит к вторжению морских вод в водоносный горизонт. Уже сейчас на большей части побережья морская вода проникла на расстояние свыше километра от берега. И каждый год эта зона расширяется.

Второй по значимости водоносный горизонт Горный. Он простирается от Израильской долины на севере страны до города Беер-Шева на границе пустыни Негев и делится на Восточный и Западный водоносные горизонты. Карстовые системы, существующие в горном водоносном горизонте, содержат естественные подземные резервуары, наполненные чистой водой. Именно здесь вода наиболее высокого качества, она может быть использована без ограничений для любых нужд практически без какой-либо предварительной обработки. Но ее уровень в этом водоносном горизонте неоднократно опускался ниже критической отметки, поэтому в настоящее время из него запрещен отбор воды свыше естественного дождевого восполнения в зимний сезон.

Западный водоносный горизонт, известный как Яркон Таниним, простирается на

север и на запад и разгружается на побережье Средиземного моря. Естественное восполнение его в среднем равно 350 млн м³/год, что составляет 22% всех водных ресурсов Израиля.

Восточный водоносный горизонт разгружается в Иорданской рифтовой долине и Мертвом море и в среднем естественно восполняется на 300 млн. м³/год. Относительно меньшие водоносные горизонты расположены в Западной Галилее, Восточной Галилее, Негеве и долине Арава.

Подземные воды добываются в Израиле из 2800 скважин, из которых около 1300 принадлежат компании «Мекорот», а остальная часть воды различными учреждениями или частным лицам. Примерно 1/3 водопотребления в Израиле зависит от поверхностных водных ресурсов, главным образом из реки Иордан. Поэтому подземные воды являются основным источником водоснабжения, что составляет 2/3 потребления страны. Из-за существенных колебаний ежегодных осадков подземные водоносные горизонты считаются более надежными потенциальными резервуарами, чем поверхностное хранение. К этому стоит добавить, что по статистике в среднем в каждые 3 из 5 лет в Израиле случается засуха, подземные источники начинают опустошаться быстрее, чем они успевают естественно пополняться, и страна переходит в режим строгой экономии воды.

По данным ФАО [5] общие внутренние ВВР Израиля оцениваются в 750 млн. м³/год. Около 250 млн. м³ — это поверхностные воды и 500 млн. м³ подземные воды, а перекрытие между поверхностными и подземными водами считается незначительным. Поверхностные воды, поступающие из соседних стран, оцениваются в 305 млн. м³/год, из которых 160 млн. м³ из Ливана, 125 млн. м³ из Сирийской Арабской Республики и 20 млн. м³ с За-

падного берега. Поступление подземных вод в страну оценивается в 725 млн. м³/год, из которых 325 млн. м³ из Западного берега, 250 млн. м³ — из Сирийской Арабской Республики и 150 млн. м³ из Ливана. Таким образом, общие возобновляемые водные ресурсы составляли по данным на 2009 г. 1 780 млн. м³/год, из которых 92% считаются эксплуатируемыми. Около 25 млн. м³/год подземных вод поступает из страны в сектор Газа. Около 80 % потенциала воды сосредоточено в северной части страны, и только 20 % — на юге.

В последовавшие годы засухи резко снизился уровень воды во всех основных водоемах. Фактически, в сезон 1998/99 гг. наблюдалась самая сильная засуха в Израиле за последние 100 лет. Следующие годы также характеризовались менее чем средним количеством осадков, что приводило к дефициту около 0,5 млн. м³ в водном балансе Израиля каждый год по сравнению со средним годом. Зимы 2002/2003 и 2003/2004 гг. характеризовались средним и более высоким уровнем осадков, что привело к значительному повышению уровня воды в озере Кинерет и сбору паводковых вод в водосборных бассейнах. Однако водоносные горизонты страны по-прежнему истощены и с течением времени наблюдается снижение потенциала водных ресурсов.

Потенциальные водные ресурсы страны за различные периоды приведены в Табл. 1. Показано также количество возобновляемой солоноватой воды с концентрацией хлоридов выше 400 мг/л. Для получения доступной пресной воды необходимо от среднего количества вычесть солоноватую воду. Как видим, за весь рассматриваемый период (1976-2009 гг.) доступные возобновляемые ресурсы пресной воды составили в среднем 1547 млн. м³. Однако, с 1993 г. в связи с климатическими колебаниями и увеличением повторяемости

и интенсивности засух на территории Израиля, доступные водные ресурсы пресной воды систематически уменьшались и за период 1995–2016 гг. составили в среднем 1180 млн. м³ [11]. (Табл. 1)

Израиль потребляет больше воды, чем ВВП, которые в основном обеспечиваются атмосферными осадками. Если в 1980 г. дефицит воды составил 128 км, то к 2015 г. дефицит возобновляемых водных ресурсов Израиля, по данным Гидрологической службы, составил около 1000 км, что соответствует половине годового потребления воды в стране [13]. Хроническая нехватка воды в течение многих лет вызвана как объективными, так и субъективными причинами. Израиль пережил подряд несколько длительных периодов засухи. Рост спроса на воду для коммунально-бытового водоснабжения, вызванный ростом численности населения и повышением уровня жизни, и необходимостью осуществления водоснабжения в соответствии с международными договорными обязательствами привели к чрезмерному использованию возобновляемых водных источников страны. Дефицит также привел к ухудшению качества питьевых водных ресурсов. Израиль постоянно вынужден искать решение проблемы ограниченности ресурсов при постоянно растущих потребностях, сосредотачивая усилия на политических, организационных, технологических и функциональных вариантах эффективного использования водных ресурсов.

ЮРИДИЧЕСКОЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО И НОРМАТИВНАЯ БАЗА

Вода в Израиле рассматривается как крайне важный национальный ресурс. Она необходима для повышения благосостояния и качества жизни населения и поддержки сельскохозяйственного сектора. Достаточное количество водных ресурсов

Таблица 1. Потенциальные поверхностные и подземные водные ресурсы Израиля (млн. м³/год) и в том числе солоноватая вода [7]

Бассейн	1976-1992		1976-1992		1976-2009	
	Всего	Солоноватой	Всего	Солоноватой	Всего	Солоноватой
Кинерет	623	18	540	14	581	16
Прибрежный	252	124	232	116	243	120
Западный	369	0	333	0	352	0
Восточный	211	0	174	0	192	0
Северо-восточный	151	0	134	0	142	0
Нижняя Галилея	30	6	26	6	28	6
Западная Галилея	139	30	132	30	136	30
Кармель	42	15	40	15	41	15
Негев и Арава	32	28	32	28	32	28
Газа	44	31	40	23	42	27
Итого	1893	252	1683	232	1789	242
Пресная вода	1641		1451		1547	

является основой устойчивого развития государства и обеспечивает продовольственную безопасность.

Национальная цель Израиля — обеспечить устойчивое снабжение водой всех потребителей в соответствии с утвержденными требованиями качества, количества, эффективности и экономической надежности. Основу законодательной базы в сфере водопользования составляют пять нормативных актов: закон о воде от 1959 г. (основополагающий), закон о контроле над бурением водных скважин от 1956 г., закон об охране почв и водотведении от 1957 г., закон об измерении воды от 1995 г., закон о водных корпорациях от 2001 г.

Закон о водных ресурсах, который сделал воду национализированным общественным достоянием, остается основным для современной водной политики и управления ими. В результате его принятия, были задействованы водные ресурсы, а также регулирование использования и распреде-

ления водных ресурсов, предотвращение загрязнения и сохранение водных ресурсов. Водное законодательство Израиля основано на следующих положениях:

- водные ресурсы являются собственностью общества, и нет частной собственности на водные ресурсы;
- каждый человек имеет право на воду для установленных целей;
- общий объем располагаемых водных ресурсов является недостаточным, и необходимо осуществить расстановку приоритетов в целях обеспечения достаточного количества и качества воды для всех пользователей;
- только централизованное распределение водных ресурсов может обеспечить оптимальное использование ограниченных водных ресурсов;
- потребители через своих представителей должны вносить существенный вклад в формирование правил по распределению квот воды;

- необходимо попытаться увеличить объемы водных ресурсов, располагаемых для использования потребителями.

Закон о воде создает баланс между существующим дефицитом воды и необходимостью обеспечения воды для тех потребностей, которые признаны самыми важными. Закон обеспечивает, чтобы все водные ресурсы принадлежали обществу и выделялись только для конкретных и установленных целей. Поэтому национальное планирование водных ресурсов основано на максимальном сбережении воды, оптимальном управлении водными ресурсами и внимательном распределении воды. Практически все потребление воды измеряется.

В основу системы распределения ограниченных водных ресурсов в Израиле заложено нормирование потребления воды. Большинство регионов страны были объявлены «регионами нормирования водоподдачи», означающими, что водопотребление должно было быть ограничено до установленных норм. Поэтому были установлены нормы сельскохозяйственного водопотребления и урожайности, коммунально-бытового водопотребления на душу населения и промышленного водопотребления.

Первичной правительственной организацией, ответственной за планирование, регулирование и разработку политики в отношении воды, является Управление по водным ресурсам Израиля (Департамент Министерства инфраструктуры), которое действует, как доверенное лицо от имени всей общественности и обязано обеспечить справедливое распределение воды для нужд жителей и развития государства в целом. На Управление возлагается ответственность за управление, эксплуатацию и развитие водного сектора страны, ответственность за сохранение и восстановление

природных водных источников, разработку новых источников воды и контроля над водопотреблением и водоподготовкой.

Управление включает развитие и эксплуатацию структуры водопотребления, сохранение и предотвращение загрязнения, создание условий для эффективного водопользования, измерение, контроль цен на воду, контроль над дренажом и затоплением. Такие виды деятельности, как бурение колодцев, производство воды, ее поставка, очистка или опреснение, подлежат лицензированию.

РАЗВИТИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

До начала XX века земледелие в стране, почти не знавшее искусственного орошения, концентрировалось в северных районах и в приморской полосе. Преобладало богарное земледелие, полностью зависящее от сезонных осадков. Переход на новые методы был связан не только с внедрением новых технологий, но и с концептуальным изменением стратегии и масштабов сельскохозяйственной деятельности. Прогрессу в этом вопросе способствовали два фактора: прибытие значительного числа энтузиастов еврейского заселения страны, в том числе опытных специалистов в области орошения и мелиорации, а также внедрение и освоение новых зарубежных технологий.

В рамках поселенческого движения группа геологов во главе с проф. Л. Пикаром (прибывшим в 1924 г. из Германии) приступила к разведке подземных вод. Созданию надежных систем водоснабжения способствовали современное буровое оборудование, позволявшее разбуривать скальные породы, мощные насосы, металлические трубы и новые материалы, как например, цемент. Силами вновь созданной Государственной компании водоснабжения «Мекорот» в 1935–1938 гг. на западных склонах Изреельской долины

были пробурены три скважины, объединенные в общую сеть. Главные характеристики этого проекта заключались в следующем: подача воды по высоконапорным металлическим трубам, что обеспечивает непрерывное водоснабжение на большие расстояния и позволило отказаться от традиционного метода полива затоплением и перейти на дождевальные установки; снабжение системы двумя бетонными хранилищами и двумя открытыми резервуарами, позволяющими накапливать воду и обеспечивать непрерывность ее подачи на поля.

И все-таки не менее важным, чем технологические достижения, был радикальный пересмотр самой концепции водоснабжения. В конце 1930-х годов израильские специалисты в области орошения сформулировали основные принципы развития системы водоснабжения. Во-первых, система водоснабжения должна учитывать местные природные и климатические условия и в первую очередь стремиться к устранению различий между районами, где имеются достаточные запасы воды, и засушливыми, страдающими от нехватки воды. Она должна обеспечить надежную компенсацию отсутствия осадков в летний сухой сезон. Избыточная вода рек, ручьев и источников должна собираться в резервуарах, а также подземных и искусственных водохранилищах с целью ее последующей перекачки в систему водоснабжения с учетом потребления. Во-вторых, транспортировка воды по трубам должна осуществляться под давлением. Такой метод, хотя и требует значительных финансовых затрат, позволяет преодолеть сложности рельефа и свести к минимуму потери воды. Он гарантирует сбалансированное и «справедливое» распределение воды между потребителями. В-третьих, планирование должно быть комплексным. Иными словами, проекты водоснабжения должны учитывать рост

численности населения, а также развитие сельскохозяйственного производства, особенно в Негеве и на юге страны.

Начиная с 1939 года, было предложено несколько проектов обеспечения Негева водой. Первый водовод был введен в действие в 1947 г.; он обеспечивал надежное, хотя и не вполне достаточное водоснабжение большинства поселений (жителям некоторых из них все еще приходилось полагаться на колодцы). Водовод транспортировал воду из скважин северо-западного Негева. Первая очередь водовода, протяженностью в 19 км и мощностью в 1 млн. м³ воды в год, состояла из труб 15-ти см. в диаметре. В дальнейшем на этом участке трубы были заменены на 50-ти см., и мощность увеличилась до 30 млн. м³ воды в год. Казавшаяся утопической идея президента Израиля Т. Герцля об использовании для орошения пустыни Негев излишков воды на севере страны получила в 1945 г. научное обоснование в проектных предложениях американского профессора у К. Лаудермила и начала проводиться в жизнь после образования Государства Израиль.

Был сооружен первый трубопровод Яркон — Негев. Трубопровод протяженностью в 130 км, диаметром труб 1,5 м ежегодно поставлял 100 млн. м³ воды из реки Яркон. Однако он не мог полностью обеспечить потребности Негева в воде. Поэтому было запланировано строительство Всеизраильского водовода (ВИВ) от реки Иордан до ее впадения в озеро Кинерет на юг. Начавшаяся в 1953 г. у прокладка канала была вскоре запрещена Советом Безопасности ООН по причине начала военных действий со стороны Сирии: артобстрелами сирийцы выражали протест против обустройства водовода в непосредственной близости от пограничных территорий. Инженеры рассмотрели проектные решения, определив новый источник — озеро Кинерет. В 1956 г.

был дан старт реализации планов израильского правительства по созданию водовода, и в 1964 г. система водоснабжения заработала в полную силу.

ВИВ является самым крупным объектом системы водоснабжения и состоит из трубопровода диаметром 2,74 м, насосных станций, резервуаров, открытых каналов и туннелей (рис. 3). Общая длина магистральных каналов и трубопроводов — около 130 км. Пропускная способность — около 130 км. Пропускная способность — 72 тыс. м³/час, а суммарная мощность составляет 400 млн. м³ воды в год [4]. (Рис. 3.)

Изначально вода из озера Кинерет подается на насосную станцию на 257 м вверх и через туннель — в оперативное водохранилище. В дальнейшем ее поднимают еще на 115 м до отметки 157 м выше у. м., откуда она самотёком поступает в открытый канал и в водоподготовительные резервуары, оснащенные системами механической, химической и биологической очистки. С 2008 г. функционирует фильтрационная установка, четвертая по величине в мире (500 млн м³/год), для дальнейшего очищения воды перед подачей ее в закрытый трубопровод. Он транспортирует воду на 86 км на юг страны, где от главной магистрали ВИВ отходят многочисленные боковые ветки для водоснабжения городов, в том числе и Палестинской Автономии. Помимо вод Кинерета, ВИВ питают еще горный и приморский водоносные горизонты, дающие, соответственно, 350 и 250 км воды в год. Сеть имеет более 12 000 км водопроводных труб, 1050 скваженных колодцев, 13 станций очистки сточных вод. ВИВ поставляет 70% общего объема воды полного потребления, в том числе 80% питьевой воды. Эксплуатацией и развитием ВИВ занимается компания «Мекорот», в также коллективные водные ассоциации, поставляющие альтернативные источники водных ресурсов в основном сельскохозяйственным потребителям.

Компания «Мекорот» планирует строительство двух магистральных водопроводов для транспортировки очищенных сточных вод с севера и центра страны на юг и восток.

Созданная система подачи воды в стране является уникальной, является примером инженерной мысли и техники высокого уровня и комплексного, интегрального управления водой. Мекорот объединил все источники воды в стране: водовод из озера Кинерет, все скважины, воду реки Яркон, местные источники густой сетью трубопроводов различного назначения, воды Кине-



Рис. 3. Национальная система водоснабжения Израиля (Israel Water Authority, 2015)

рета, прибрежного и горного водоносных горизонтов, опресненных вод. Эта система имеет в своем составе лишь один открытый, облицованный канал длиной 24 км. Но этим уникальность системы не ограничивается — она полностью автоматизирована и оборудована системой постоянного мониторинга транспортировки и распределения воды.

ВОДОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДЫ

Водосбережение является самым надежным и наименее дорогостоящим способом расширения водных ресурсов страны, и эта задача выполняется во всех секторах. В целях сокращения потребления и повышения осведомленности о нехватке воды применяются общественные кампании по сохранению водных ресурсов в сочетании с техническими и экономическими мерами.

Сельское хозяйство Израиля потребляет в настоящее время 58% всех водных ресурсов страны (по миру этот показатель составляет 70–90%). В сельскохозяйственном секторе существенные сбережения были достигнуты через технологические усовершенствования методов орошения, включающих дождевание, капельное орошение с компьютеризированными и автоматизированными системами управления, а также повторного использования пресной воды и переработки сточных вод. Усовершенствование автоматических систем подачи воды позволило совместить полив с подачей удобрений, предварительно растворенных в поливной воде. Последующая компьютеризация дала возможность учитывать при поливе изменяющиеся климатические условия, рельеф местности сельхозугодий и фенологическую фазу растения, выведя сельское хозяйство на уровень «точного земледелия». Широкое использование новых технологических методов орошения позволило снизить оросительные нормы

с 8600 м³ на га в 1955 г. до 5700 в 1995 г., в то время как производительность урожая на единицу воды увеличилась более чем в двое, от 1,2 до 2,5 кг на кубический метр воды [14].

Ещё один действенный механизм снижения водопотребления — ценообразование на воду. Оно носит прогрессивный характер (по аналогии с прогрессивным налогом): для конечных потребителей цена неизменна только в рамках определенного объёма, при его превышении растёт и цена за м³ воды. И чем больше превышение, тем выше цена.

Цены на воду были установлены по блочной системе. Для каждого потребителя были установлены квоты как для коммунальных водопотребителей так и для сельскохозяйственных. Для сельскохозяйственных производителей правительство жестоко контролирует, какой вид продукции и в каком объеме производит каждое хозяйство. Такая политика проводится с целью избежать перепроизводства, а значит и лишнего водопотребления. В зависимости от объема производства и вида производимой культуры каждое хозяйство получает определенную ежегодную квоту на воду.

Минимальная цена для сельскохозяйственного потребителя — 50 центов США за м³, устанавливается лишь на половину потребленной в рамках выделенной квоты воды. Следующие 30% квоты оплачиваются уже по 60 центов/м³, оставшаяся часть — по 75 центов/м³. Очищенные сточные воды стоят для орошения 35 центов/м³, а слабо минерализованные 24 цента/м³. Таким образом, сельскохозяйственные производители мотивированы расходовать воду более эффективно, чем это заложено в нормах министерства сельского хозяйства.

Отдельные тарифы существуют и для промышленных предприятий. Примерно 30% общей воды, потребляемой в настоя-

шее время в промышленном секторе, солоноватая, а не пресная вода. Предусмотрены стимулы для использования альтернатив питьевой воде, такие как снижение ставок на покупку солоноватой (0,3 долл./м³), а не питьевой воды (1,3 долл./м³).

Тарифы для бытового водоснабжения следующие (2011 г.): — до 3,5 м³ на человека в месяц — ставка 2,5 долл./м³ — выше 3,5 м³ на человека в месяц — ставка 4 долл./м³.

В 2010 г. тарифы на воду в коммунальном секторе были повышены на 40% и льготный м³ питьевой воды стал стоить 2,6 долл., что привело к понижению водопотребления в этом секторе до 18%. Время от времени цены на воду корректируются в зависимости от изменений в индексе потребительских цен, тарифах на электроэнергию и индекса заработной платы.

Четкое распределение воды между отраслями сопровождается постоянной корректировкой норм и квот для них и соответственно изменения их финансовых и экономических обязательств, определяющих общее стимулирование экономного расходования воды.

В муниципальном секторе усилия сосредоточены на повышении эффективности управления водными ресурсами, ремонте, контроле и мониторинге муниципальных систем водоснабжения, в частности на орошении общественных парков и садов. Количество воды, используемой для полива общественных парков и садов, было не известно. В 2009 г. начали устанавливать измерительные установки для каждого сада и парка и стоимость воды определялась с учетом площади, типа сада (деревья и кусты, цветы, травы) и предполагаемого вида источника воды. Парки были помещены в режим сохранения, включая посадки засухоустойчивых растений и полив в ночное время.

Водные компании в муниципалитетах сконцентрировались на устранении утечек

из сетей и уменьшении эксплуатационных потерь, а также постоянном поиске методов водосбережения. Если в среднем в мире городские сети водоснабжения теряют до 40 % от своих объемов водоподачи, Израиль достиг в 2006 г. 16 %. После подъема цен на воду и организации водных корпораций Управлению водных ресурсов удалось уменьшить муниципальные водные потери до 11 % в 2013 г.

В 1960-е годы израильские власти приняли трудное решение импортировать большую часть продуктов водозатратных производств вместо того, чтобы выращивать ее внутри страны. Тогда чиновники поняли, что дефицитные запасы воды в стране не могут удовлетворить это требование. В сегодняшних цифрах объем импортируемой водозатратной продукции представляет собой «виртуальный импорт» почти 3 млрд. м³ воды в год, что почти в два раза превышает общую доступность водных ресурсов в Израиле.

Дефицит пресной воды подстегивает израильских агрономов и биотехнологов выводить особые культурные сорта, способные питаться водой с большим содержанием солей. Многочисленные исследования установили, что некоторые культуры (хлопчатник, томаты, дыни) положительно реагируют на слабоминерализованную воду. Однако для того, чтобы свести к минимуму аккумуляцию солей вокруг корневой системы растений, а также обеспечить вынос аккумулярованных солей важно: а) использовать капельное орошение для подачи солоноватой воды; б) выращивать растения в беспочвенном субстрате либо на легких почвах (песчаных или глинисто-песчаных). Все это может обеспечить существенную экономию пресной вода при орошении культур, способных довольствоваться слабоминерализованной водой.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Хронический дефицит водных ресурсов в Израиле вызвал необходимость использования в дополнение к поверхностным и подземным водам альтернативных источников воды. Существуют три основных типа альтернативной воды: паводковые воды, сточные воды и опресненные морские и соленые подземные воды.

В короткий дождливый сезон, когда в течение трех зимних месяцев выпадает до 90 % атмосферных осадков, в основном ливневого характера, в Средиземное море, в среднем, уходит от 300 до 500 млн. м³ воды. Поэтому с начала 1950-х годов ведутся работы по задержанию паводковых вод. Осуществлено устройство запруд в руслах вади и в оврагах, по которым зимой воды стекали в море или в Иорданскую впадину, сооружение плотин и водохранилищ. Всего в стране построено более 2000 малых и средних водохранилищ объемом от 0,2 до 8 млн. м³, [4], а также 230 водохранилищ более крупного размера, созданных Еврейским Национальным Фондом (ЕНФ), общим объемом более 150 млн. м³. Поскольку каждый резервуар, как правило, имеет два цикла наполнения, то эти водохранилища обеспечивают в среднем 270 млн. м³ воды для сельского хозяйства в Израиле ежегодно. Они используются как дополнительные источники поверхностных ресурсов или как специальные наливные ёмкости в легко проницаемых геологических структурах для инфильтрации воды в подземные водоносные горизонты с целью более интенсивного пополнения подземных ресурсов в дождливый период.

Многие из них являются мультифункциональными: 54% водохранилищ используются для сбора очищенных сточных вод, 15% собирают паводковый сток, 21% — для пополнения водоносных слоев, восстано-

ления рек, использования в зонах отдыха и 10% — для хранения пресной воды. 46% всех водохранилищ, построенных ЕНФ, сосредоточены на севере страны, 40% — на юге и 14% — в центре страны.

Водоохранилища, построенные ЕНФ, обеспечивают 66% от всего объема очищенных сточных вод для сельского хозяйства и примерно 30% от общего объема воды, потребляемой в сельском хозяйстве.

Объемы очищенных сточных вод возрастают каждый год. Поэтому строительство водохранилищ продолжается. Совместно со специалистами из Австралии ЕНФ ведет строительство шести новых водохранилищ в Негеве для хранения очищенных сточных вод из Беер-Шевы и ближайших поселений вместе со сточными водами Палестинской администрации в районе Хеврона. В 2018 г. в Беер-Шеве завершается строительство водоема площадью 9 га. По своей площади он будет уступать только озеру Кинерет и будет наполнен сточными водами высокого уровня очистки.

Есть еще неиспользованные сточные воды, которые вытекают в море — ливневой сток с городских территорий. Грязная дождевая вода сливается в канализационные колодцы и течет в море, а это один из основных источников потери воды и загрязнения окружающей среды. ЕНФ в сотрудничестве с австралийскими специалистами разработали систему биофильтрационной очистки этой воды с последующей подпиткой ею грунтовых вод.

Разработан комплекс из пяти слоев пористых пород (общая глубина 1,3 м), которые содержат разные виды микроорганизмов, в сочетании с особыми видами растений, которые удаляют из воды тяжелые металлы и другие вредные примеси. Первая станция биофильтрации воды была апробирована в 2010 г. городе Кфар-Саба. Она показала хорошую эффективность: более 90% дож-

девой воды было собрано и очищено до питьевого качества. В настоящее время эффективность биофильтрации проверяется при других видах загрязнителей еще в двух городах. Если все три пилотных проекта завершатся успешно, биофильтры станут обязательной частью любого нового населенного пункта. Они появятся в большинстве городов Израиля.

Дефицит воды и загрязнение моря в Израиле послужили основными движущими силами развития, адаптации и внедрения очистки и повторного использования сточных вод. Повторное использование сточных вод является важным источником воды для сельского хозяйства в Израиле. Из 530 млн. м³/год произведенных сточных вод обрабатывается 476 млн. м³/год (93%) и 410 млн. м³/год (86%) повторно используется при орошении [15].

Очистка сточных вод является трехступенчатой в зависимости от целей ее последующего использования. Для нужд орошения проводится первичная (механическая) и вторичная (биологическая аэробная и анаэробная) очистка воды. Очищенные сточные воды не смешиваются с питьевой водой из ВИВ, а отводятся по отдельной системе водопроводов со своей инфраструктурой. Для того чтобы очистить воду до питьевого качества используется третичная очистка воды в соответствии с 37 международными стандартами питьевой воды.

Внутренние сточные воды собираются и обрабатываются компанией «Мекорот» или частными компаниями. Частные очистные сооружения обычно работают в небольших отдаленных общинах, тогда как «Мекорот» обрабатывает сточные воды из крупных городских центров.

Из 180 крупных очистных сооружений, которые работают в стране, на одно — ШАФДАН (Институт по очистке вод Гуш-Дана, основан в 1969 г.) приходится

треть всех канализационных вод. Зона переработки — сбор 125 млн. м³ сточных вод (2010 г.), поступающих от 2,5 млн. жителей Тель-Авива и его пригородов и 7 тыс. промышленных объектов, их биологическая очистка и искусственное пополнение подземных вод. При этом достигаются две цели: исключается возможность потерь воды вследствие испарения и обеспечивается ее дополнительная очистка благодаря просачиванию сквозь слои почво-грунты. Вода достигает глубины до 100 м.

Каждые сутки на заводе очищают около 350 тыс. м³ вод, что составляет около 10% от общей потребности воды в Израиле. Причем очищенная вода обходится Израилу в 2,5 раза дешевле, чем опресненная морская.

По мере необходимости, в основном в летний период, производится откачка воды. Около 110 млн. м³ этих очищенных вод ежегодно транспортируется через специальный 90 км «красный трубопровод» (Третий негевский водовод) в западный Негев для орошения. Высокий уровень очистки позволяет использовать воду для полива всех видов сельскохозяйственных культур без риска для здоровья потребителей.

Еще несколько очистительных станций находятся в стадии проектирования и строительства. Ожидается, что в конечном итоге очищенные сточные воды станут основным источником удовлетворения потребностей сельского хозяйства. Израиль стремится увеличить вдвое количество сточных вод, производимых для сельскохозяйственного сектора, к 2050 г. [16]. Таким образом, свежая пресная вода сохранится для бытового потребления. Замена использования пресной воды обработанными сточными водами помогает учитывать межгодовую и межсезонную изменчивость, а также повышает устойчивость к изменению климата.

Очистительные станции меньших масштабов, расположенные в разных частях

страны, осуществляют переработку сточных вод с целью полива полей, расположенных поблизости от этих станций. В ряде случаев применяется минимальная очистка, и такая вода используется лишь для полива технических культур, не являющихся пищевыми, например, хлопчатника. Тем не менее, небольшие станции в высшей степени выгодны в экономическом отношении.

Учитывая нарастающий кризис с водными ресурсами в мире, человечество ищет и разрабатывает новые технологии водосбережения, в том числе и опреснение солоноватых подземных и соленых морских вод. Несмотря на то, что это дорогостоящий процесс, он позволяет производить большие объемы питьевой воды, природных источников которой на душу населения становится с каждым годом все меньше.

Целью Управления водными ресурсами Израиля является увеличение производства питьевой воды посредством опреснения солоноватой воды. До настоящего времени общий потенциал солоноватой воды был установлен в размере более 200 млн. м³/год (некоторая часть этого потенциала должна быть подтверждена дальнейшими гидрологическими исследованиями), и он может быть использован в будущем для производства около 50 млн. м³/год питьевой вод. В настоящее время по всей стране откачивается около 166 млн. м³ солоноватой воды из разных скважин и непосредственно используется в качестве источника водоснабжения. Промышленность использует около 35 млн. м³/год (в основном как охлаждающую воду), а оставшаяся часть используется в сельском хозяйстве (для рыборазводных прудов и орошения).

Первая крупная опреснительная установка, действующая еще по устаревшей технологии выпаривания воды, появилась в конце 1960-х годов в городе Эйлат на берегу Красного моря. Это самый засушливый район

страны, где практически не выпадает осадков. Население Эйлата составляет 40 тыс. чел.; кроме того, город ежегодно посещают 500 тыс. туристов. До 1997 г. вся питьевая вода, поступающая в Эйлат, являлась продуктом переработки слабоминерализованных вод подземных источников. Опреснение осуществлялось методом обратного осмоса на двух установках, суммарная производительность которых составляла около 36 тыс. м³/день (13 млн. м³/год). Установки работают до сегодняшнего времени, используя более прогрессивную технологию обратного осмоса. Постоянный рост потребления потребовал сооружения третьей опреснительной установки, использующей в качестве сырья воду Красного моря. В настоящее время мощность этой установки составляет около 3,5 млн. м³ воды в год. Около 29 малых заводов в южных районах страны производят 25 млн. м³/год воды, главным образом из солоноватой воды.

Подземные минерализованные воды залегают отдельными горизонтами на значительном расстоянии друг от друга, и к тому же их запасы незначительны, ресурсы морской воды практически неограниченны. Поэтому для удовлетворения растущих потребностей в ограниченных водных ресурсах Израиля и смягчения условий засухи, характерных для большинства лет с середины 1990-х годов, израильское правительство инициировало в 1999 г. долгосрочную крупномасштабную программу производства питьевой воды для внутреннего потребления путем опреснения морской воды. Обратный осмос был принят как ведущий метод опреснения солоноватой и морской воды.

С момента начала реализации программы опреснения было сделано несколько изменений в правительственных решениях относительно производства годового количества опреснительной воды. На пересмотр объема производства опресненной морской

воды повлияли краткосрочные межгодовые изменения атмосферных осадков и корректировка изменения национальных объемов потребления воды. Первоначальная целевая мощность в 50 млн. м³/год была пересмотрена в 2002 г. до 400 млн. м³. Эта цель была сокращена в 2003 г. до 230 млн. м³/год в ответ на беспрецедентное количество осадков в 2002 г. В июле 2007 г., после нескольких засушливых лет, целевая производственная мощность была пересмотрена до 505 млн. м³/год, а в 2008 г. до 750 млн. м³/год, которые должны быть достигнуты к 2020 г.

В настоящее время в стране эксплуатируется пять опреснительных установок морской воды: Ашкелон (запущен в 2004 г.) с годовой производственной мощностью 120 млн. м³, Пальмахим (в 2007 г.) увеличил производительность к 2007 г. до 90 млн. м³, Хадера (в 2009 г.) (127 млн. м³), Сорек (2013 г.) (150 млн. м³) и Ашдод (в 2015 г.) (100 млн. м³), все они расположены вдоль Средиземного моря, для облегчения доставки морской воды на установки. Суммарно заводы обеспечивают около 600 млн. м³ опреснительной воды в год, что эквивалентно примерно 42% потребностей страны в питьевой воде [17]. Планируется, что поставки опресненной морской воды к 2020 г. увеличатся на 25% до 750 млн. м³, что составляет треть от общего спроса на воду.

Завод «Сорек» является крупнейшим и самым современным в мире предприятием по опреснению морской воды, обеспечивающим 20% общего потребления воды в домашнем хозяйстве. Завод имеет собственную независимую электростанцию, которая работает на природном газе с меньшим уровнем выбросов двуокси углерода, а стоимость топлива примерно на 7% дешевле, чем энергетические системы с угольным топливом. Поэтому стоимость опресненной воды здесь самая низкая — 52 цента/м³, в то время как на остальных

опреснительных заводах она изменяется в пределах 65–80 центов/м³.

Правительство Израиля планирует построить новые заводы по опреснению морской воды в регионе Западной Галилеи на севере Израиля, единственной части страны без доступа к опресненной воде.

К сожалению, опреснители-гиганты имеют и свои недостатки. Главными из них являются высокая энергоемкость и побочные продукты, в числе которых вредные химикаты и парниковые газы. Одни ученые упорно ищут пути минимизации ущерба, а другие предлагают поискать иные пути рационального использования воды.

Израильская фирма «Нелар» и Институт изучения пустынь Университета Негев им. Бен-Гуриона [18] разработали автономные системы очистки бытовых стоков. Речь идет об относительно компактных установках, с помощью которых использованная вода очищается и подлежит вторичному использованию в бытовых целях. Это включает рекультивацию серой воды, которая поступает из душевых, кухонных раковин и стиральных машин. Очищенная серая вода находит два основных применения: 1) Внутреннее использование — серая вода может использоваться для промывки туалетов, тем самым заменяя использование пресной воды (потенциал экономии около 100–150 млн. м³/год). Поскольку это будет реализовано только в новых строительных проектах, то к концу 2050 г. может быть достигнут потенциал экономии 50 млн. м³. 2) Общественное городское использование — серая вода может использоваться для орошения в парках (текущий потенциал 30 млн. м³/год). Серая вода уже широко используется для полива деревьев и газонов во многих частных владениях.

Необходимо отметить возможности использования для пополнения водных ресурсов современных методов получения (кон-

денсации) промышленных объемов воды из атмосферы, вызывания искусственного дождя и другие. Израильская компания Water-Gen разработала устройство способное вырабатывать чистую питьевую воду из воздуха, а также очищать загрязненную воду. Аппарат работает с высокой скоростью и практически в любом климате при минимальных затратах электроэнергии. Он дает в пять раз больше воды на киловатт энергии, чем любое другое аналогичное устройство. При таком КПД он может реально стать устройством, которое решит проблему дефицита водных ресурсов в мировом масштабе.

С 1960 г. в северных и центральных районах для вызова или усиления дождя распыляют иодистое серебро, а также используют специальные высокогорные установки («печи»). Увеличение количества осадков до 15% оправдывают применение этого дорогостоящего метода, особенно в бассейне озера Кинерет. Однако следует отметить, что специфическая облачность в засушливые годы снижает эффективность выпадения дождя в период когда это необходимо. Поэтому компания «Мекорот» начала применять новую для этих целей технологию конденсирования воды. Ее суть заключается в распылении в воздухе специального реагента, благодаря которому образуются облака, и выпадает дождь. Схожая технология широко применяется в более дождливых странах перед массовыми торжествами для предупреждения выпадения осадков. Согласно анализу полученных данных, данная практика приносит свои плоды — количество осадков увеличилось на 13%.

Как известно, опреснительные заводы потребляют большое количество электроэнергии и должны строиться в непосредственной близости к сетям высокого напряжения. Израильская компания IDE Technologies проводит в тестовом режи-

ме на площади в 1000 м² проверку нового опреснителя с использованием солнечной энергии. Секрет нового опреснителя — специальные нанопрофилирующие мембраны, которые производят высококачественную воду и позволяют фермеру или менеджеру самим решать, какие минералы оставить в воде, а какие удалять. Как правило, обычные опреснительные фильтры удаляют все минералы, которые впоследствии добавляются в опресненную воду по необходимости. До сих пор результаты экспериментов были очень многообещающими — опресненная вода позволяет фермерам использовать на 25% меньше воды и удобрений, чем раньше. Согласно результатам других тестов, очищенная вода не имеет негативного влияния на темпы роста и увеличение урожая. Разработчики проекта сообщают, что урожай сорго и проса даже увеличился.

В качестве пополнения водных ресурсов в Израиле рассматриваются и термальные воды, большие запасы которых находятся в пустыне Негев и используются они многократно. После выращивания в термальных водах криветок и мальков рыбы вода подается в пруд для разведения рыб. Обогащенная минералами вода из пруда используется для орошения кормовых растений, садовых культур и выращивания в теплицах цветов или овощей.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Общее потребление воды в 2013 г. составило 2187,1 млн. м³ [6] и превысило естественное водоснабжение примерно на 45% [17]. Этот дефицит компенсируется альтернативными источниками воды.

Сельскохозяйственный сектор является крупнейшим водопользователем (около 58%), потребляющим около 1205 млн. м³ воды в 2013 г. (Табл. 2). Однако большая часть этой воды является солоноватой или переработанной (62%), а около 38% — пресной водой. На внутреннее водопользование,



Рис. 4. Исторические, современные и прогнозируемые объемы потребления (млн. м³) водных ресурсов Израиля по типам воды. Пунктирная линия — среднегодовые возобновляемые водные ресурсы за периоды: 1960-1993 (1249 млн. м³), 1993-2015 (1155 млн. м³) и снижение на 15% с 2015 до 2050 гг.

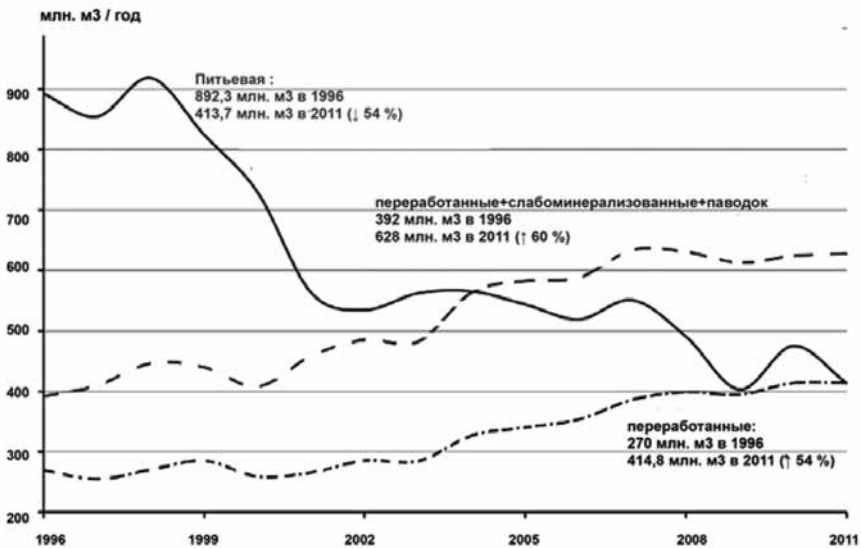


Рис. 5. Использование разных типов воды в сельском хозяйстве Израиля в период 1996-2011гг. [15]

включающее воду для приготовления пищи, принятия душа, уборки приходится 35% (733 млн. м³) использованной воды. Объем промышленного использования воды оценивается примерно в 7% в 2013 г.

Помимо поставки воды в три основных сектора водопользования, в 2013 г. Израиль

в рамках двухсторонних соглашений о совместном использовании воды предоставил Иордании около 53 млн. м³, 54 млн. м³ Палестинской автономии и 4 млн. м³ в сектор Газа. Около 23,5 млн. м³ было направлено на экологические цели.

Таблица 2. Использование водных ресурсов в Израиле в 2013 г

	Сельское хозяйство			Коммунальное хозяйство			Промышленность			Итого
	П	М	Всего	П	М	Всего	П	М	Всего	
млн. м ³	460.6	744	1204.6	717.6	15.4	733.2	91.5	46.8	138.3	2076.1
%*	38	62	-	98	2	-	66	34	-	
%**			58			35			7	

*% отношение внутри сектора пресной (П) и очищенных сточных и опресненных (М) вод; **% от общего потребления водных ресурсов

За 10 лет потребление воды в Израиле увеличилось на 18% — с 1860 млн. м³ в 2003 г. до 2187 млн. м³ в 2013 г. Ожидается, что общее потребление воды увеличится на 31% до 2600 млн. м³ к 2020 г. и далее на 35% до 3500 млн. м³ к 2050 г. (Рис. 4). При этом использование пресной природной воды уменьшится от 56% в 2010 г. до 29% к 2050 г., в то же время объем очищенных сточных вод возрастет с 21 до 26%, а опресненных вод с 14% до 42%. Использование солоноватых вод уменьшится с 8% в 2010 г. до 4% к 2050 г.

Большая часть современного и будущего потребления воды в Израиле сосредоточена на сельскохозяйственном и бытовом секторах. В сельскохозяйственном секторе изменяется структура водопользования (Рис. 5). Как видно из рис. 5, использование природной воды в сельском хозяйстве сократилось за 15 лет на 54% — с 892,3 млн. м³

в 1996 г. до 413,7 млн. м³ в 2011 г. В то же время объем переработанной воды увеличился с 270 мкм в 1996 году до 414,8 млн. м³ в 2011 г. В общем использование альтернативных вод увеличилось за этот период в сельском хозяйстве до 60% и эта тенденция, замена естественной воды на альтернативные воды, будет продолжаться (Табл.3). Использование слабо минерализованных вод в сельском хозяйстве уменьшится к 2050 г. на 70% и составит в общем водопотреблении 7%.

Соленая вода в сельском хозяйстве широко используется в рыбном хозяйстве и при выращивании солеустойчивых растений. Рыбоводческая отрасль Израиля расходует в год около 100 млн. м³ воды, из которых около 75% не питьевой воды. Подобрана порода рыб — австралийский себас, который успешно размножается в этой воде, а также разводят тилапию, трout, басса и др.

Передовые технологии делают возможным максимальное использование каждого кубометра воды. Так, использование замкнутой системы водоснабжения в рыбном хозяйстве позволяет не только экономить воду, но и полностью автоматизировать процесс: компьютеры, контролирующие

химический состав воды при необходимости обеспечивающие систему свежей водой, специализированные вентиляторы, позволяющие рыбе дышать, датчики, постоянно устанавливающие и анализирующие состояние рыбы в бассейнах. Ферма выращивает до 100 кг рыбы на 1 м³ воды даже в пустыне.

Таблица 3. Современное и будущие изменения в водопотреблении в сельском хозяйстве по типам воды

Год	Общая питьевая вода, %	Очищенные сточные воды, %	Солоноватая вода, %	Итого	
				%	Млн. м ³
2000	67	24	9	100	1089
2010	48	38	14	100	1045
2015	45	43	12	100	1083
2020	42	47	11	100	1138
2025	39	51	10	100	1156
2050	26	67	7	100	1450

Источник: Water Authority, 2015

В растениеводстве соленая вода применяется без предварительной водоподготовки с учетом биологических особенностей растений и применением различных технологических приемов повышения солеустойчивости. В самом сухом районе Израиля, в долине Арава, где годовое количество осадков меньше 50 мм, в растениеводстве используется 32 млн. м³ солоноватой воды в год. Примерно 30% (46 млн. м³) общей воды (138 млн. м³), потребляемой в промышленном секторе, является солоноватой.

Общее потребление воды в Израиле увеличилось за 60 лет на 60%, в сельском хозяйстве лишь на 10%, а в промышленности в пределах 1–2%. Увеличение использования воды за этот период обусловлено ро-

стом численности населения с 2 млн. человек в 1958 г. до 8,4 млн. в 2017 г. [19].

В среднем по Израилю среднегодовое потребление воды на душу населения за последние 15 лет снизилось на 22%: с 110 м³ в 1998 г. до 86,8 м³, конце 2014 г. И хотя спрос на воду в расчете на душу населения падает, в абсолютном выражении он всё равно растёт. В настоящее время городской сектор потребляет приблизительно 740 млн. м³, ежегодный прирост составляет приблизительно 20 млн. м³ ежегодно, рост примерно на 4 %. Согласно планам компании «Мекорот» население Израиля к 2020 г. увеличится до 9,1 млн. м³, и потребление воды в городском секторе приблизится к 1 млн. м³, а к 2050 г. превысит объемы потребления воды в сель-

ском хозяйстве. Таким образом, произойдет перераспределение естественной воды из сельского хозяйства в бытовой сектор.

В 2003 г. в Законе о воде в список законных получателей пресной воды были добавлены экологические потребности природы. На реабилитацию водных источников (рек, водоемов, подземных вод) выделяется от 10 до 50 млн. м³ в год пресной воды. Восстановление израильских рек уже становится реальностью [20]. Управление водных ресурсов рассматривает возможность строительства водовода, который будет закачивать опресненную воду из Средиземного моря в стремительно мелеющее из-за длительной засухи озеро Кинерет. Согласно планам, в засушливые годы в Кинерет будет перекачиваться 100 млн. м³ опресненной воды, что позволит повысить уровень воды в озере на 70 см. [6].

Как отмечалось выше, Израиль выполняет свои обязательства в соответствии с Водными соглашениями с Палестинской

автономией и Иорданией, предоставляя на Западный берег, сектор Газа и Иорданию от 100 до 143 млн. м³ воды в год.

СОВРЕМЕННЫЙ И ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ВОДНЫЙ БАЛАНС И СТРУКТУРА ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ

В Израиле разработана программа развития водного сектора, основанная на долгосрочном генеральном плане с учетом роста численности населения и ожидаемого повышения уровня жизни, глобальных изменений климата, снижения инфильтрации воды в подземные водоносные горизонты в результате урбанизации, увеличения водоподачи соседним государствам (Табл. 4). Диапазон планирования длительный — до 2050 г. [21]. Формирование долгосрочного водного баланса не претендует на точный прогноз будущего и будет периодически пересматриваться с учетом технологических, демографических, геополитических и других изменений.

Таблица 4. Современный и перспективный водный баланс и структура водопотребления в Израиле

Источники воды (млн. м³ / год)

Год	Питьевая вода	Соленая вода	Очищенные сточные воды	Опресненные солоноватые воды	Опресненная морская вода	Требуемое дополнение	Всего
2010	1 200	174	450	23	280	4	2 131
2020	1 140	150	573	50	750	9	2 672
2030	1 080	140	685	60	750	50	2 765
2050	1020	130	930	70	750	671	3 571

Потребление воды (млн. м³/ год)

Год	Городское	Промышленность			Сельское хозяйство			Всего
		Питьевая	Соленая	Всего	Питьевая	Соленая	Очищенные сточные воды	
2010	764	90	30	120	500	144	400	1044
2020	902	95	30	125	490	120	528	1138
2030	1 064	99	30	129	470	110	645	1225
2050	1 482	108	30	138	450	100	900	1450

Год	Поставка соседям	Восстановление природных водоемов	Природа и ландшафт		Недвижимые	Общее потребление
			Питьевая	Всего		
2010	143	0	10	60	0	2 131
2020	143	200	50	95	70	2 672
2030	143	0	50	90	114	2 765
2050	143	0	50	80	278	3 571

Источник: Long-Term Master..., 2012

За базовые показатели водного баланса приняты данные за 2010 г. с реперными точками в 2020 и 2030 годах. При этом предполагается, что население в 2020 г. увеличится до 9,1 млн. человек, в 2030 г. — до 10,9 млн., а в 2050 г. — 15,5 млн. человек (ежегодный прирост 1,8%), а потребление воды на душу населения понизится от 100 м³ в 2010 г. до 95 м³ в 2050 г.

Политика развития и балансы определялись на основе существующих соглашений с Иорданией и Палестинской Автономией. Обеспечение дополнительных объемов воды, а также будущие договоренности с Сирией и Ливаном, потребуют одновременно усовершенствования и расширения системы опреснения морских вод, наряду с дополнительными инвести-

циями в системы транспортировки и распределения воды.

Плановое задание по эксплуатационному запасу, который будет гарантировать формирование среднего объема в природных водоемах с обеспеченностью 90%, составляет около 1500 млн. м³ выше «красной линии». Оно основывается на статистических данных, что в 90% случаев суммарное использование аккумулированной воды достигнет приблизительно 1500 млн. м³, если каждый год формируется объем, равный среднему восполнению. Это является гарантией для поддержания бездефицитного уровня водопотребления. За счет создаваемого профицита будут пополняться запасы подземных и поверхностных водных источников с целью их реабилитации.

Опреснительная «революция» позволила полностью прекратить откачку вод из озера Кинерет для восстановления его уровня и уменьшения засоленности водоема. Более того, созданный профицит водных ресурсов даст возможность увеличить поставки воды остро нуждающимся соседнему Иорданскому Королевству и Палестинской Автономии.

Развитие водного хозяйства Израиля требует значительных инвестиций, как со стороны государственного бюджета, так и привлечение частных, в том числе и зарубежных капиталовложений. Для выполнения этого плана, уровень капиталовложений в получение альтернативных водных ресурсов, реабилитацию естественных водных ресурсов и инфраструктуру водоснабжения потребуются до 2050 г. около 206 млрд. шекелей, или около 5.15 млрд. шекелей ежегодно. Около 80% этой суммы будет финансироваться водопотребителями за счет роста цен на воду.

В эпоху надвигающегося водного дефицита вода перестает быть бесплатным ресурсом и становится товаром, за который нужно платить либо водообеспеченным соседям, контролирующим пресные источники, либо вкладываться в собственные водосберегающие технологии. Третий путь — замена дефицитного ресурса недефицитным. Израиль использовал в качестве недефицитного ресурса сточные и морские воды, а также интеллектуальный багаж своих соотечественников, которые смогли вывести Израиль в лидеры по эффективному использованию ограниченных водных ресурсов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С самого основания государства Израиль его водному хозяйству приходилось находить передовые решения, чтобы обеспечить водой граждан своей страны. Именно в Израиле, находящемся в одном из самых

засушливых регионов мира, впервые возникли и были развиты идеи национального управления водным хозяйством, капельного орошения, переработки и очищения сточных вод, опреснения соленой подземной и морской воды.

В последние годы водный сектор Государства Израиль пережил значительные изменения практически во всех его аспектах: физическом, структурном, законодательном и организационном. Разумное управление водными ресурсами, повторное использование сточных вод и опреснение морской воды, а также сооружение Всеизраильского водовода, последовательная экономическая политика в водном секторе на фоне эффективного интегрированного управления ограниченных водных ресурсов, направленные на борьбу с их дефицитом, позволили решить в государственном масштабе проблему нехватки воды и вывести страну из водного кризиса, снизить климатическую зависимость и сохранить озеро Кинерет.

Способы сохранения и производства воды, которые были настолько эффективны в государстве Израиль, могут предоставить ценные возможности для других стран, испытывающих серьезные и растущие проблемы в водоснабжении. Примерами являются нововведения в крупномасштабной мелиорации сточных вод для орошения в сельскохозяйственном секторе, технологические, селекционные и методологические инновации, которые повышают эффективность использования в сельскохозяйственном секторе, многочисленные инновации в области политики для эффективного управления водными ресурсами и высокоэкономичные эксплуатационные расходы опреснительных установок. Государство Израиль приветствует обмен информацией и технологиями между странами для оптимизации эффективности использования воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пайпс Д. Ближний Восток остается без воды. *Washington Times*. 2015. 8 мая.
2. Борисова Е.А. Водные и энергетические ресурсы «Большой» Центральной Азии. Москва: Ленанд; 2015. С. 105–111.
3. Goldreich Y. The climate of Israel observation, research and application. New York: Springer Science and Business; 2003. P. 264.
4. Озиранский Ю., Кольмакова Е.Г., Марголина И.Л. Интегрированное управление ограниченными водными ресурсами в целях устойчивого водоснабжения аридных регионов (опыт Государства Израиль). *Аридные экосистемы*, 2014; 20(4): 57–65.
5. AQUASTAT. Regional water report 34. Israel: Statistic at FAO; 2009.
6. Israel Water Authority. South Korea. Towards World Water Forum VII; 2015.
7. Tsur Y. Closing the (widening) gap between natural water resources and water needs in the Jordan River Basin: A long term perspective. *Department of Agricultural Economics and Management, The Hebrew University of Jerusalem, Discussion Paper*. 2014;2(14): 28.
8. Weinberger G., Livshitz Y., Givati A., Zilberbrand M., Tal A., Weiss M., and Zurieli A. The natural water resources between the Mediterranean Sea and the Jordan River. *Israel Hydrological Service, Israel's Authority for Water Sewage*. 2012;1: 71.
9. Sade R., Rimmer A., Samuels R., Salingar Y., Denisyuk M., and Alpert P. Water Management in a Complex Hydrological Basin — Application of Water Evaluation and Planning Tool (WEAP) to the Lake Kinneret Watershed, Israel. In: Berchard D. et. All. (Eds.). *Integrate Water Resources Management: Concept, Research and Implementation*. Switzerland: Springer; 2016. P. 35–57.
10. Zohary T., Sukenik A., Berman T., Nishri A. (Eds.). *Lake Kinneret: Ecology and Management*. Dordrecht: Springer; 2014. 683.
11. Markel D. Preserving Lake Kinneret as a Strategic Water Source Considering the Climate Change. *International Conference: Cutting-Edge Solution to Wicked Water Problems*. New York. 2017.
12. Rimmer A., Givati A., Samuels R., and Alpert P. Using ensemble of climate models to evaluate future water and solutes budgets in Lake Kinneret. *Israel: J. Hydrol*; 2011. P. 248–259.
13. Becker N., Ward F. A. Adaptive water Management in Iareal: Structure and policy options. *Inter. Jour. of Water Resources Development*. 2015;31(4): 317–330.
14. Stanhill G. Irrigation in Israel: past achievements, present challenges and future possibilities. In: Shalhevet J. et. Aii. (Eds.). *Water Use Efficiency in Agriculture*. Rehovot: Priel Publisher; 1992. P. 63–77.
15. Israel's Fourth Aquifer (www.kkl.jnf.org/water-for-israel/israel-fourth-aquifer)
16. Rejwan A. The State of Israel: National Water Efficiency Report. *Israel Water Authority*: 2011;1:41.
17. Tenne A. Sea Water Desalination in Israel: Planning, coping with difficulties, and economic aspect of long-term risks. *Israel Water Authority*. 2010;1:13.
18. Gross A. Advanced technologies for graywater treatment and reuse. *A Voice from the Desert. A Bulletin of the J. Blaustein Institutes for Desert Research*. 2006;11: 6–8.
19. Central Bureau of Statistics. 2016. Israel in Figures. Available from: http://www.cbs.gov.il/www/publications/isr_in_n16e.pdf
20. Tal A., Katz D. Rehabilitating Israel's streams and rivers. *Int. Jour. River Basin Management*. 2012;10(4): 317–330.
21. Long-Term Master Plan for the National. Water Sector, Part A — Policy Document. *Israel Water Authority*: 2012;4:102.

REFERENCES

1. Pipes D. Middle East remain without Water. Washington Times. 2015. May 8. (In Russ.)
2. Borisova E.A. Water and Energy Resources of «Greater Central Asia». Moscow: LENAND; 2015. P. 105–111. (In Russ.)
3. Goldreich Y. The climate of Israel observation, research and application. New York: Springer Science and Business; 2003. 264.
4. Oziransky Y., Kalmakova A. G., Margolina I. L. Integrated Management of limited Water Resources for sustainable water supply of arid regions. (Experience of Israel). *Arid Ecosystems*. 2014; 20(4):57-65
5. AQUASTAT. Regional water report 34. Israel: Statistic at FAO; 2009.
6. Israel Water Authority. South Korea. Towards World Water Forum VII; 2015.
7. Tsur Y. Closing the (widening) gap between natural water resources and water needs in the Jordan River Basin: A long term perspective. *Department of Agricultural Economics and Management, The Hebrew University of Jerusalem, Discussion Paper*. 2014;2(14): 28.
8. Weinberger G., Livshitz Y., Givati A., Zilberbrand M., Tal A., Weiss M., and Zurieli A. The natural water resources between the Mediterranean Sea and the Jordan River. *Israel Hydrological Service, Israel's Authority for Water Sewage*. 2012;1: 71.
9. Sade R., Rimmer A., Samuels R., Salingar Y., Denisyuk M., and Alpert P. Water Management in a Complex Hydrological Basin — Application of Water Evaluation and Planning Tool (WEAP) to the Lake Kinneret Watershed, Israel. In: Berchard D. et. All. (Eds.). *Integrate Water Resources Management: Concept, Research and Implementation*. Switzerland: Springer; 2016. P. 35–57.
10. Zohary T., Sukenik A., Berman T., Nishri A. (Eds.). *Lake Kinneret: Ecology and Management*. Dordrecht: Springer; 2014. 683.
11. Markel D. Preserving Lake Kinneret as a Strategic Water Source Considering the Climate Change. International Conference: Cutting–Edge Solution to Wicked Water Problems. New York. 2017.
12. Rimmer A., Givati A., Samuels R., and Alpert P. Using ensemble of climate models to evaluate future water and solutes budgets in Lake Kinneret. *Israel: J. Hydrol*; 2011. P. 248–259.
13. Becker N., Ward F. A. Adaptive water Management in Iareal: Structure and policy options. *Inter. Jour. of Water Resources Development*. 2015;31(4): 317–330.
14. Stanhill G. Irrigation in Israel: past achievements, present challenges and future possibilities. In: Shalhevet J. et. Aii. (Eds.). *Water Use Efficiency in Agriculture*. Rehovot: Priel Publisher; 1992. P. 63–77.
15. Israel's Fourth Aquifer (www.kkl.jnf.org/water-for-israel/israel-fourth-aquifer)
16. Rejwan A. The State of Israel: National Water Efficiency Report. *Israel Water Authority*: 2011;1:41.
17. Tenne A. Sea Water Desalination in Israel: Planning, coping with difficulties, and economic aspect of long-term risks. *Israel Water Authority*. 2010;1:13.
18. Gross A. Advanced technologies for graywater treatment and reuse. A Voice from the Desert. *A Bulletin of the J. Blaustein Institutes for Desert Research*. 2006;11: 6–8.
19. Central Bureau of Statistics. 2016. Israel in Fugures. Available from: http://www.cbs.gov.il/www/publications/isr_in_n16e.pdf
20. Tal A., Katz D. Rehabilitating Israel;s streams and rivers. *Int. Jour. River Basin Management*. 2012;10(4): 317–330.
21. Long-Term Master Plan for the National. Water Sector, Part A — Policy Document. *Israel Water Authority*: 2012;4:102.

.....
Статья получена 22.02.2018
Received 22.02.2018

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Николай С. Орловский, доктор географических наук, Институт изучения пустынь им. Блауштейна Университета Негев им. Бен-Гуриона, Израиль; 84990, Израиль, Седе-Бокер Кампус;
nicolai@bgu.ac.il

Nicolai S. Orlovsky, Blaustein Institute for Desert Research Ben-Gurion University of the Negev, Israel; Sede-Boqer Campus, 84990, Israel;
nicolai@bgu.ac.il

Игорь С. Зонн, доктор географических наук, академик РАН, Инженерный научно-производственный центр по водному хозяйству мелиорации и экологии «Союзводпроект», Москва, Россия; 107005, Россия, Москва, ул. Бауманская, д. 43/1, стр. 1;
gorzonn@yandex.ru

Igor S. Zonn, Doctor of Geography, Academician of RANS, engineering Research Production Center on Water Management, Land Reclamation and Ecology «Sojuzvodproject», Moscow, Russia; bld. 43/1, Baumanskaj str., Moscow 107005, Russia;
igorzonn@yandex.ru