

УДК 628.1:556.18

**АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ СБОРА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ
И ОЦЕНКА ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ В УСЛОВИЯХ
ЗАСУШЛИВОГО КЛИМАТА.**

**Ишанов Ж., PhD специалист,
Научно-информационный центр МКВК ЦА,
Узбекистан, Ташкент**

Аннотация. В статье проведён анализ более 30 научных публикаций, свыше 10 международных отчётов и других источников, посвящённых сбору атмосферных осадков и их эффективному использованию. В ходе исследования были изучены возможности и практическое значение современных технологий, направленных на использование атмосферных осадков в условиях аридного и полупустынного климата.

Анализ рассмотренных источников показал, что сбор и использование атмосферных осадков рассматриваются как одно из перспективных направлений смягчения дефицита водных ресурсов. Кроме того, были изучены практические результаты применения технологий MAR, Farm Dam, PHS, Check Dam, Run-off Harvesting, RWH, RHS и Green Roof, используемых в Австралии, США, Германии, Франции, Великобритании, Израиле, Индии и Турции.

Результаты исследования свидетельствуют о том, что данные технологии играют важную роль в формировании дополнительных запасов воды для нужд населённых пунктов, животноводства и сельского хозяйства, а также способствуют пополнению запасов подземных и поверхностных водных ресурсов и повышению надёжности водообеспечения.

Ключевой слова. Атмосферные осадки, водный дефицит, аридный климат, технологии сбора, использования дождевой воды, MAR, RWH, Farm Dam, Check Dam, Run-off Harvesting, Green Roof.

*Ishanov J. Kh., PhD Specialist,
Scientific Information Center
ICWC Central Asia,
Uzbekistan, Tashkent*

Abstract. This article presents an analysis of more than 30 scientific publications, over 10 international reports, and various other sources devoted to the collection and efficient utilization of atmospheric precipitation. The study examined the potential and practical significance of modern technologies aimed at harvesting and using atmospheric precipitation under arid and semi-arid climatic conditions.

The analysis of the reviewed sources showed that rainwater harvesting and utilization are considered among the most promising approaches for mitigating water scarcity. In addition, the practical outcomes of implementing MAR, Farm Dam, PHS, Check Dam, Run-off Harvesting, RWH, RHS, and Green Roof technologies in Australia, the United States, Germany, France, the United Kingdom, Israel, India, and Turkiye were examined.

The results indicate that these technologies play an important role in creating additional water reserves for domestic, livestock, and agricultural needs. Furthermore, they contribute to the replenishment of groundwater and surface water resources and enhance the reliability of water supply systems in water-scarce regions.

Keywords: atmospheric precipitation, water scarcity, arid climate, rainwater harvesting technologies, rainwater utilization, MAR, RWH, Farm Dam, Check Dam, Run-off Harvesting, Green Roof.

Введение. Несмотря на то что технологии сбора атмосферных осадков в ряде регионов с засушливым климатом применяются на протяжении многих лет, уровень их внедрения на крупных территориях и степень использования их потенциала как в развивающихся, так и в развитых странах остаются недостаточными.

В последние годы основное внимание уделялось управлению водными ресурсами крупных рек и каналов. Однако рост численности населения, изменение климата и ограниченность водных ресурсов приводят к усилению дефицита воды во многих регионах мира. В связи с этим всё большую актуальность приобретают технологии сбора и эффективного использования атмосферных осадков. В таких условиях использование дождевых и талых вод рассматривается как одно из перспективных решений для обеспечения сельскохозяйственных культур водой в аридных и полуаридных регионах.

В настоящее время рациональное использование водных ресурсов остаётся одной из наиболее актуальных глобальных задач. Из общего объёма воды на Земле, составляющего около 1,4 млрд км³, 97,5 % приходится на солёные воды и лишь 2,5 % – на пресные водные ресурсы. При этом 69,5 % запасов пресной воды сосредоточено в полярных ледниках, 30,1 % – в подземных водах и только 0,4 % – в поверхностных водных источниках [14].

Фотоматериал, отражающий проблему дефицита водных ресурсов, представлен на рисунке 1



Рис.1.Состояние дефицита водных ресурсов на Земле

Исходя из сложившейся ситуации, внедрение технологий сбора атмосферных осадков и их эффективного использования приобретает особую актуальность. В данной работе рассматриваются научные основы использования атмосферных осадков, зарубежный опыт их применения, а также возможности адаптации соответствующих технологий к условиям аридного климата. Основной целью исследования является оценка научно обоснованных технологий, направленных на повышение эффективности использования водных ресурсов и улучшение обеспечения сельского хозяйства водными источниками.

В статье изучены зарубежные научные публикации, отчёты международных организаций и результаты практических исследований, посвящённые сбору и использованию атмосферных осадков. В качестве источников информации использовались материалы ООН, UNESCO, FAO и других международных организаций, а также данные о технологиях MAR, RHS, PHS, Run-off Harvesting и Check Dam, применяемых в Австралии, США, Германии, Франции, Великобритании, Израиле, Индии и Турции.

При подготовке статьи использовались общепринятые методы научного исследования, включая анализ литературы, сравнительный анализ и обобщение полученных данных. Были изучены существующие технологии сбора и использования атмосферных осадков, применяемые в

различных странах мира, а также проведена оценка их преимуществ, недостатков и возможностей применения в условиях аридного и полуаридного климата.

Результаты анализа показали, что эффективное использование атмосферных осадков является актуальной задачей не только на национальном, но и на международном уровне. Данное направление также занимает важное место в рамках Целей устойчивого развития (SDGs), принятых Организацией Объединённых Наций.

На международном уровне в рамках Целей устойчивого развития (SDGs — Sustainable Development Goals) особое внимание уделяется подходам, направленным на рациональное и эффективное использование водных ресурсов, а также широкому внедрению инновационных технологий [25]. Программа SDGs была принята Организацией Объединённых Наций в 2015 году и включает 17 глобальных целей, достижение которых предусмотрено к 2030 году. Среди них важное место занимает Цель 6 «Чистая вода и санитария» (SDG 6), ориентированная на обеспечение устойчивого управления водными ресурсами [9]. В рамках данной цели сбор, хранение и эффективное использование атмосферных осадков рассматриваются как одно из важных направлений повышения водной безопасности.

Кроме того, Президент Республики Узбекистан в своём выступлении на восьмой Ассамблее Глобального экологического фонда, состоявшейся в городе Самарканде, уделил особое внимание проблеме дефицита водных ресурсов. В своём докладе он отметил, что опустынивание, деградация земель, таяние ледников и дефицит воды, вызванные изменением климата, становятся одним из основных вызовов для стран Центральной Азии. Согласно анализу Всемирного банка, в настоящее время около 37 млн человек в регионе проживают в районах с высоким уровнем водного

дефицита, а к 2050 году этот показатель может увеличиться до 75 млн человек [10].

По данным UNESCO, в 2021 году был проведён анализ 28 демонстрационных проектов MAR, реализованных в 17 странах мира. Результаты показали, что данная технология позволяет эффективно пополнять запасы подземных вод и обеспечивать дополнительными водными ресурсами территории, испытывающие дефицит воды [1,16].

Технология MAR (Managed Aquifer Recharge) представляет собой метод искусственного пополнения запасов подземных вод за счёт инфильтрации атмосферных осадков, паводковых вод и других водных источников в водоносные горизонты посредством специальных инфильтрационных сооружений [8]. В настоящее время данная технология рассматривается как один из эффективных способов поддержания устойчивых запасов подземных вод в аридных и полуаридных регионах, испытывающих дефицит водных ресурсов.

Наряду с технологиями MAR, направленными на пополнение запасов подземных вод, широкое распространение получили системы поверхностного накопления воды, основанные на сборе атмосферных осадков и местного стока.

В частности, в городе Перт (Австралия) очищенные сточные воды используются для пополнения запасов питьевой воды посредством их инфильтрации в подземные водоносные горизонты. Отмечается, что с помощью данной системы ежегодно в подземные водоносные слои направляется около 28 млн м³ воды. Кроме того, в Австралии в рамках системы MAR осуществляется сбор дождевых и дренажных вод с последующей инфильтрацией, что способствует снижению риска наводнений и улучшению водообеспечения [8].

Практика показывает, что сбор атмосферных осадков обеспечивает высокую эффективность при использовании воды для нужд сельского

хозяйства, водоснабжения населения и развития животноводства. Пример данной технологии представлен на рисунке 2.

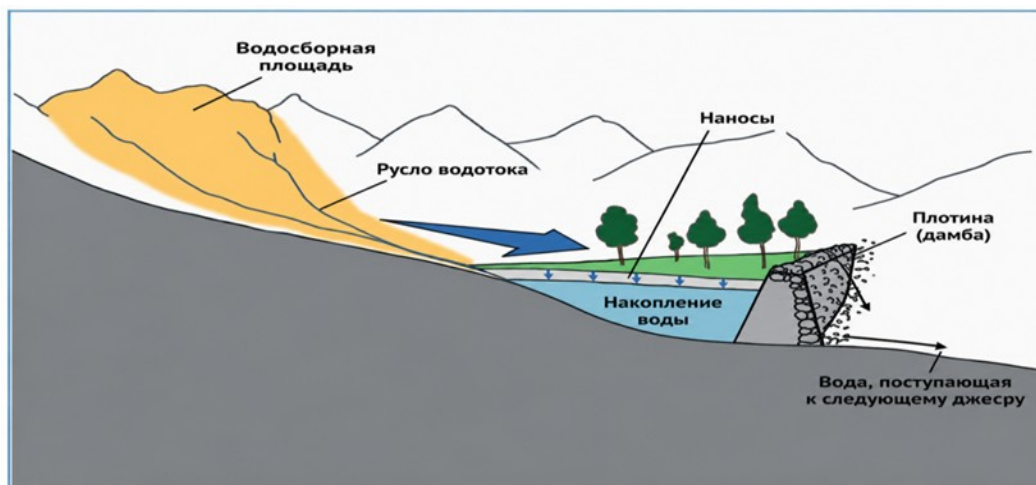


Рис. 2. Технология MAR сбора талых и дождевых вод.

Преимуществом данной технологии является возможность пополнения запасов подземных вод за счёт инфильтрации дождевых, талых и паводковых вод. Это способствует более эффективному использованию водных ресурсов и поддержанию стабильного уровня подземных вод.

Основным недостатком технологии является необходимость строительства специальных инфильтрационных сооружений, включая инфильтрационные скважины и буровые конструкции, что требует привлечения специализированной техники. Вследствие этого возрастают первоначальные капитальные затраты на внедрение системы.

Результаты анализа показали, что технология MAR успешно применяется и в других странах мира. Так, в регионе Негев (Израиль) ежегодно около 135 млн м³ очищенных сточных вод направляется в подземные водоносные горизонты через 110 га инфильтрационных бассейнов с последующим использованием в сельском хозяйстве [23]. В системе Los Arenales региона Кастилия-и-Леон (Испания) ежегодно инфильтрируется около 2,42 млн м³ избыточных сезонных вод для пополнения запасов подземных вод [32]. В районе Атлантис (Южно-

Африканская Республика) данная технология применяется с 1980 года и обеспечивает устойчивость водоснабжения при среднегодовом количестве осадков около 445 мм. В префектуре Кумамото (Япония) посредством фильтрации воды через рисовые поля ежегодно пополняется около 14 млн м³ подземных вод, что позволяет покрывать до 13 % городского водопотребления [15].

Следует отметить, что в Австралии в условиях ограниченности водных ресурсов и усиливающегося воздействия изменения климата спрос на пресную воду продолжает расти. По данным исследований, к 2050 году дефицит воды в стране может значительно усилиться [2], поскольку Австралия относится к числу государств с высокой долей аридных территорий. В связи с этим вопросам эффективного использования атмосферных осадков уделяется особое внимание.

В Австралии использование атмосферных осадков не ограничивается технологиями MAR, направленными на искусственное пополнение подземных вод. Для нужд сельского хозяйства широко применяются также системы поверхностного накопления воды типа Farm Dam.

По имеющимся данным, австралийскими фермерскими хозяйствами создано более одного миллиона небольших водоёмов (Farm Dams), предназначенных для сбора дождевых и местных стоковых вод [2]. Отмечается, что благодаря строительству новых водохранилищ за последнее десятилетие дополнительно накоплено около 180 GL воды. Данный объём эквивалентен примерно 180 млн м³ и превышает треть объёма гавани Сиднея (Port Jackson) [3]. Собранная вода эффективно используется для сельскохозяйственного производства, водопоя скота и других хозяйственных нужд.

Ещё одним эффективным направлением использования атмосферных осадков являются технологии, основанные на перехвате поверхностного

стока и его накоплении с помощью специальных гидротехнических сооружений.

В частности, посредством небольших плотин типа «Check Dam» и инфильтрационных сооружений осуществляется сбор муссонных и паводковых вод, пополнение запасов подземных вод, а также обеспечение оросительной водой в засушливые периоды [34]. Наибольшее распространение данные технологии получили в штатах Раджастхан, Махараштра и в бассейне реки Ганг.

Согласно результатам исследований, для ряда сооружений типа «Check Dam» коэффициент экономической эффективности (Benefit-Cost Ratio) превышает 4. Кроме того, установлено, что в отдельных районах, несмотря на годовое количество осадков на уровне 1100–1500 мм, в межмуссонный период сохраняется дефицит воды. В этой связи накопление и рациональное использование дождевых вод в сельском хозяйстве, рыбоводстве и других отраслях рассматривается как важный инструмент повышения водообеспеченности территорий [22].

На рисунке 3 представлены конструкция и принцип работы технологии «Check Dam».

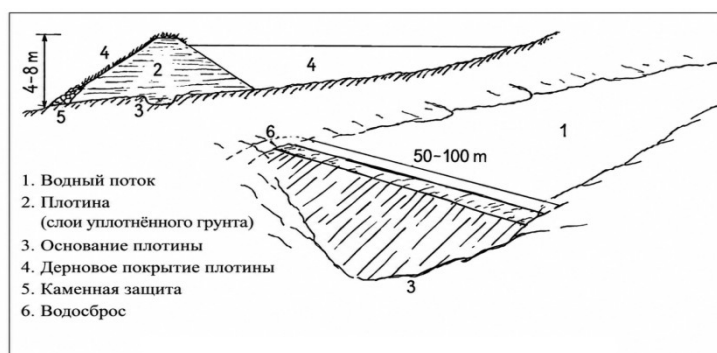


Рис. 3. Технология сбора талых и дождевых вод.

Для технологии Check Dam характерны небольшие размеры гидротехнических сооружений: высота плотины обычно составляет 4–8 м, а длина по гребню 50–100 м. Протяжённость водоудерживающего участка

определяется рельефом местности и характеристиками водосборной площади.

В аридных и полупустынных регионах для повышения эффективности использования водных ресурсов широко применяются технологии малого водосбора. Особое внимание при этом уделяется восстановлению деградированных земель, расширению площадей зелёных насаждений и обеспечению растений дополнительными водными ресурсами [32].

Ограниченность водных ресурсов в полупустынных районах требует их рационального использования. В связи с этим на практике всё более широкое распространение получают технологии, направленные на сбор и накопление дождевых вод. Одной из таких технологий является создание небольших водоёмов с использованием местных строительных материалов, предназначенных для накопления атмосферных осадков и поверхностного стока. Данный подход известен как технология Run-off Harvesting [31].

Технология Run-off Harvesting преимущественно применяется в предгорных районах и на территориях со значительными уклонами. В таких условиях в результате интенсивных осадков, а также таяния снега и ледников при повышении температуры воздуха формируются поверхностные стоковые воды. Сбор и накопление этих вод позволяет снизить риск развития почвенной эрозии и одновременно создать дополнительные запасы воды для хозяйственных нужд [23].

Пример практического применения технологии Run-off Harvesting представлен на рисунке 4.



Рис.4. Технология сбора поверхностного стока (Run-off Harvesting)

Исследования показывают, что использование воды, накопленной в период выпадения осадков, для нужд сельского хозяйства, животноводства и лесного хозяйства играет важную роль в снижении последствий дефицита воды в засушливые периоды. Анализ, проведённый на Канарских островах, в Израиле и ряде стран Ближнего Востока, подтвердил, что сбор и хранение дождевой воды являются одним из эффективных направлений рационального использования водных ресурсов [24].

Если технологии накопления поверхностных вод преимущественно применяются в сельской местности, то в городах и населённых пунктах широкое распространение получили системы сбора дождевой воды с крыш зданий.

Водные ресурсы всегда являлись одним из важнейших природных богатств. Однако в последние годы в связи с нарастающим дефицитом воды и неравномерностью распределения водных ресурсов по территориям население многих регионов сталкивается как с нехваткой воды, так и с последствиями наводнений [36]. Кроме того, отмечается, что данная ситуация создаёт дополнительные риски для сельского и лесного хозяйства [17].

В Соединённых Штатах Америки системы сбора и хранения дождевой воды эффективно функционируют не только на уровне отдельных домохозяйств, но и на муниципальном уровне. В данном направлении широко внедряются градостроительные решения, управляемые дренажные системы и организационные механизмы, обеспечивающие экологическую устойчивость территорий [27].

Проведённый анализ показывает, что в условиях усиливающихся климатических изменений эффективным решением являются строительство небольших водоёмов с использованием технологии PHS (Pond Harvesting System), а также применение технологии RHS (Roof Harvesting System), предусматривающей сбор дождевой воды с крыш жилых домов и общественных зданий для последующего хозяйственного использования [17,18].

В таких странах, как Германия, Франция и Великобритания, практика сбора атмосферных осадков в специальных резервуарах с последующим использованием для орошения зелёных насаждений получила широкое распространение. Отмечается, что технология RHS способствует также снижению нагрузки на дренажные сети. В ряде случаев населению и предприятиям, внедряющим подобные системы, предоставляются государственные льготы и субсидии [2].

Наряду с этим в странах, где сельское хозяйство играет ключевую роль в экономике, для сбора атмосферных осадков и сезонных паводковых вод широко используются различные гидротехнические сооружения.

Индия является одной из крупнейших аграрных стран мира и занимает второе место после Китая по численности населения, поэтому обеспечение высокой продуктивности сельского хозяйства имеет для страны особое значение [29]. В связи с этим технологии эффективного использования атмосферных осадков и сезонных паводковых вод получили здесь широкое распространение.

В условиях возрастающего дефицита водных ресурсов особое значение приобретает сбор атмосферных осадков и их рациональное использование. Одним из перспективных направлений в данной области является применение технологий Rainwater Harvesting (RWH) [29]. В частности, создание небольших водоёмов в засушливых районах позволяет использовать накопленную воду для формирования зелёных поясов, расширения площадей лесонасаждений, восстановления деградированных земель и решения различных задач сельскохозяйственного производства [32].

Подобный подход рекомендован результатами исследований, проведённых в Израиле, Иордании и других странах Ближнего Востока. Установлено, что для организации систем малого водосбора оптимальным является уклон местности около 7 % [8]. Кроме того, такие технологии позволяют более эффективно использовать атмосферные осадки в аридных и полуаридных условиях, снижать процессы деградации земель и способствовать развитию зелёных территорий [23]. Пример реализации технологии RWH представлен на рисунке 5.



Рис.5 Технологии (Rainwater Harvesting RWH)

В условиях постоянного роста потребности населения в воде проблема дефицита водных ресурсов приобретает всё большую актуальность. Одним из эффективных способов смягчения последствий водного дефицита является сбор и использование дождевых и талых вод. В

настоящее время одной из наиболее распространённых технологий в данной области является Rainwater Harvesting (RWH).

Использование данной технологии способствует снижению риска как водного дефицита, так и наводнений в городских и сельских районах за счёт сбора и накопления дождевой воды. Отмечается, что собранная вода может использоваться в сельском хозяйстве, а в городских условиях – для технического водоснабжения жилых, административных и офисных зданий [20].

Кроме того, технология RWH способствует улучшению водообеспечения социально уязвимых групп населения, что создаёт дополнительные возможности для выращивания плодово-овощной продукции и повышения продовольственной безопасности [16].

Ещё одним направлением эффективного использования атмосферных осадков является технология, применяемая на территории Западного берега реки Иордан (West Bank), основанная на сборе и хранении дождевой воды в специальных резервуарах (цистернах). В данном регионе цистерны представляют собой гидротехнические сооружения, предназначенные для длительного хранения атмосферных осадков и предотвращения потерь воды вследствие фильтрации [15].

Согласно изученным материалам, в районе между городами Вифлеем и Хеврон было обследовано 83 цистерны. Результаты показали, что подобные сооружения являются эффективным инструментом улучшения водоснабжения местного населения и снижения негативных последствий дефицита воды. Полученный опыт может быть полезен для аридных и полуаридных регионов, включая страны Центральной Азии [27].

Ещё один важный пример эффективного использования атмосферных осадков связан с практикой, реализованной в Индии. Отмечается, что данные подходы сыграли существенную роль в смягчении

проблемы дефицита воды. В частности, в южной части страны между штатами, расположенными в дельте реки Кавери, возникали разногласия, связанные с распределением водных ресурсов [1]. Одной из причин стало строительство крупных плотин в верхнем течении реки, что привело к сокращению объёмов воды, поступающих в штат Тамилнад, расположенный в нижнем течении.

Опыт Турции также свидетельствует об эффективности технологий использования атмосферных осадков. В стране системы RWH применяются для накопления воды как в наземных, так и в подземных резервуарах. Собранная вода используется для орошения сельскохозяйственных культур, древесных насаждений и зелёных зон в условиях водного дефицита. Кроме того, после соответствующей очистки она может использоваться для хозяйственно-бытовых нужд и даже в качестве источника питьевой воды [33].

В штате Калифорния (США) построены небольшие накопительные бассейны, в которые атмосферные осадки направляются по специальным водоотводящим каналам. Накопленная вода используется для орошения прилегающих сельскохозяйственных угодий. Особое распространение здесь получили такие решения, как «зелёные крыши» (Green Roof), биофильтры и инфильтрационные системы, обеспечивающие эффективное управление дождевыми водами [19].

Технология Green Roof («зелёная крыша») представляет собой специальную строительную систему, предусматривающую размещение растительности на поверхности кровли здания. При этом крыша полностью или частично покрывается растительным слоем, что способствует удержанию атмосферных осадков, снижению поверхностного стока и улучшению микроклимата городской среды [19]. Пример конструкции Green Roof представлен на рисунке 6.



Рис.6. Green roof (Зелёная кровлей.)

Подобные решения способствуют улучшению городской среды, снижению эффекта перегрева и загрязнения воздуха, а также более рациональному использованию водных ресурсов. Отмечается, что широкому распространению данных технологий способствуют меры государственной поддержки, включая финансовые стимулы, налоговые льготы и грантовые программы. В результате проекты, направленные на устойчивое и эффективное использование атмосферных осадков, успешно внедряются на практике. Особого внимания заслуживает тот факт, что собранные дождевые воды используются не только для снижения риска наводнений, но и для орошения деревьев и зелёных насаждений в условиях современного глобального потепления [28].

Анализ рассмотренных технологий показал, что системы MAR, Farm Dam, Check Dam, Run-off Harvesting, RWH и Green Roof основаны на трёх основных элементах: системе сбора воды (Collection System), системе транспортировки воды (Transportation System) и системе хранения воды (Storage System).

Система сбора воды (Collection System) предназначена для приёма и накопления атмосферных осадков. К её основным элементам относятся кровли зданий, площадки с твёрдым покрытием, дороги, дворовые территории, а также естественные поверхности водосбора [26].

Система транспортировки воды (Transportation System) обеспечивает подачу собранной дождевой воды от водосборной площади к объектам хранения. Как правило, она включает желоба и трубопроводы, изготовленные из оцинкованной стали, поливинилхлорида (PVC), пластика, алюминия или стекловолокна [14].

Система хранения воды (Storage System) представляет собой резервуары или подземные накопительные сооружения, предназначенные для хранения собранной дождевой воды. Их объём определяется потребностью в воде, количеством атмосферных осадков и площадью водосбора. Бетонные резервуары отличаются высокой прочностью и длительным сроком эксплуатации [28].

Сравнительный анализ технологий использования атмосферных осадков: преимущества, недостатки и возможности применения в условиях аридного климата (таблица 1).

Технология	Преимущества	Недостатки	Область применения
MAR (Managed Aquifer Recharge)	Пополняет запасы подземных вод	Требует благоприятных геологических условий	Засушливые и полузасушливые регионы
Farm Dam	Позволяет накапливать большие объёмы воды	Требует значительных земельных площадей	Фермерские хозяйства и сельскохозяйственные угодья
Check Dam	Снижает эрозию почвы и способствует пополнению подземных вод	Требует регулярного обслуживания и очистки	Предгорные и горные территории
Run-off Harvesting	Простая и относительно недорогая технология	Зависит от количества осадков и поверхностного стока	Склоновые и холмистые территории
RWH/RHS (Rainwater Harvesting / Green)	Эффективна в городских условиях, снижает нагрузку на	Ограниченный объём собираемой воды	Жилые, общественные и производственные

Roof)	дренажные системы		е здания
Цистерны для сбора дождевой воды	Обеспечивают длительное хранение воды	Высокие затраты на строительство и обслуживание	Аридные и полуаридные регионы

Результаты проведённого анализа показали, что технология MAR является одной из наиболее эффективных технологий пополнения запасов подземных вод. Установлено, что технологии Farm Dam и PHS позволяют аккумулировать значительные объёмы воды, тогда как технологии Run-off Harvesting и Check Dam играют важную роль в снижении почвенной эрозии на предгорных и склоновых территориях, а также в формировании дополнительных водных ресурсов.

Анализ показал, что технология RWH обеспечивает возможность сбора, хранения и дальнейшего использования атмосферных осадков для различных целей, а также является эффективным инструментом управления избыточными дождевыми водами в населённых пунктах. В свою очередь, технологии RHS и Green Roof способствуют рациональному использованию дождевой воды в городских условиях, снижению нагрузки на дренажные сети и улучшению городского микроклимата.

Заключение. В данной статье проведён анализ технологий эффективного использования снеговых, дождевых и паводковых вод. Результаты исследования показали, что в условиях аридного и полуаридного климата сбор атмосферных осадков и их рациональное использование имеют важное значение для снижения дефицита водных ресурсов.

Изученный зарубежный опыт свидетельствует о высокой эффективности технологий MAR, Farm Dam, Check Dam, Run-off Harvesting, RWH, RHS и Green Roof в повышении эффективности использования водных ресурсов. В частности, технология Run-off Harvesting позволяет создавать небольшие водоёмы для накопления

поверхностного стока, формирующегося за счёт атмосферных осадков в предгорных районах и на территориях со значительными уклонами. Это способствует созданию дополнительных запасов воды и снижению процессов почвенной эрозии.

Результаты исследования также показали, что применение данных технологий в аридных и полупустынных регионах Центральной Азии может способствовать повышению эффективности использования водных ресурсов. Кроме того, они позволяют формировать дополнительные запасы поверхностных и подземных вод, обеспечивать водой сельскохозяйственные культуры и животноводство, а также снижать дефицит воды в населённых пунктах с ограниченным водоснабжением.

Вспользованные источники.

1 *Accidental Death and Suicide in India* [Электронный ресурс] / National Crime Records Bureau, Ministry of Home Affairs, Government of India. – Режим доступа: <http://mynation.wordpress.com/2008/02/11/nrb2006/> (дата обращения: 09.06.2026).

2 Agarwal A., Narain S. (eds.). *Rainwater Harvesting and Utilisation. Book 3: Project Managers & Implementing Agencies*. – Nairobi : UN-HABITAT, 2005. – 101 p.

3 *Australian Rainfall and Runoff. Discussion Paper: An Interim Guideline for Considering Climate Change in Rainfall and Runoff*. – Barton ACT : Engineers Australia, 2014. – 62 p.

4 Bhalla N. *India's Rivers Dying Due to Sewage, Say Activists* [Электронный ресурс] // Reuters. – 2007. – 14 June. – Режим доступа: <http://www.reuters.com/article/latestCrisis/idUSDEL92270> (дата обращения: 09.06.2026).

5 Dillon P., Alley W., Zheng Y., Vanderzalm J. (eds.). *Managed Aquifer Recharge: Overview and Governance*. – London : International Association of Hydrogeologists, 2022. – 100 p.

6 Ertop H., Kocięcka J., Atilgan A., Liberacki D., Niemiec M., Rolbiecki R. *The Importance of Rainwater Harvesting and Its Usage Possibilities: Antalya Example (Turkey)* // *Water*. – 2023. – Vol. 15, № 12. – Art. 2194. – DOI: 10.3390/w15122194.

7 FAO. *FAOSTAT: Statistical Database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations* [Электронный ресурс]. – Rome : FAO. – Режим доступа: <https://www.fao.org/faostat> (дата обращения: 26.05.2026).

8 Ffolliott P.F., Bainbridge D.A. *Microcatchment Water Harvesting for Desert Revegetation* [Электронный ресурс]. – San Diego : Soil Ecology and Restoration Group (SERG), 2006. – Режим доступа: <https://rohan.sdsu.edu/dept/serg/> (дата обращения: 15.05.2026).

9 *Goal 6: Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all* [Электронный ресурс] // United Nations Sustainable Development Goals. – Режим доступа: <https://sdgs.un.org/goals/goal6> (дата обращения: 16.06.2026).

10 *Global ekologik jamg'armaning sakkizinchi assambleyasi ishtirokchilariga tabrik* [Электронный ресурс] // O'zbekiston Respublikasi Prezidentining rasmiy veb-sayti. – 2023. – Режим доступа: <https://president.uz/uz/lists/view/9278> (дата обращения: 15.06.2026).

11 *Green Roofs: A Sustainable Solution for Urban Development* [Электронный ресурс] // *Medium*. – Режим доступа: <https://medium.com/mark-and-focus/green-roofs-a-sustainable-solution-for-urban-development-f639a1a39dc1> (дата обращения: 12.06.2026).

12 Husna Aishah Zabidi, Goh H.W., Chang C.K., Chan N.W., Zakaria N.A. *A Review of Roof and Pond Rainwater Harvesting Systems for Water*

Security: The Design, Performance and Way Forward // Water. – 2020. – Vol. 12, № 11. – Art. 3163. – DOI: 10.3390/w12113163.

13 International Association of Hydrogeologists (IAH). *Managed Aquifer Recharge* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://recharge.iah.org> (дата обращения: 26.05.2026).

14 Jagawat H. *Transforming the Dry Lands: The Sadguru Story of Western India*. – New Delhi : India Research Press ; N.M. Sadguru Water and Development Foundation, 2005. – 145 p.

15 Koelbel J. *Survey and Assessment of Ancient Cisterns in the West Bank* [Электронный ресурс]. – Jerusalem : Applied Research Institute–Jerusalem (ARIJ), 2009. – 32 p.

16 Kumar T., Jhariya D.C. *Identification of rainwater harvesting sites using SCS-CN methodology, remote sensing and Geographical Information System techniques* // Geocarto International. – 2017. – Vol. 32, № 12. – P. 1367–1388. – DOI: 10.1080/10106049.2016.1213772.

17 Morales-Pinzón T., Rieradevall J., Gasol C.M., Gabarrell X. *Modelling for economic cost and environmental analysis of rainwater harvesting systems* // Journal of Cleaner Production. – 2015. – Vol. 87. – P. 613–626.

18 Mushtaq S., Dawe D., Hafeez M. *Economic evaluation of small multi-purpose ponds in the Zhanghe irrigation system, China* // Agricultural Water Management. – 2007. – Vol. 91. – P. 61–70.

19. OECD. *OECD Environmental Performance Reviews: Israel 2023* [Электронный ресурс]. – Paris : OECD Publishing, 2023. – 100 p. – DOI: 10.1787/0175ae95-en. – Режим доступа: <https://www.oecd.org/environment/country-reviews/environmental-performance-reviews-israel-2023.htm> (дата обращения: 24.06.2026).

20 Rahman A. *Rainwater Harvesting for Sustainable Developments: Non-Potable Use, Household Irrigation and Stormwater Management* // Western

Sydney University. – Sydney : School of Engineering, Design and Built Environment, Western Sydney University, 2022. – P. 2–5.

21 Rahman A., Yildirim G., Alim M.A., Amis C.C., Khan M.M., Shirin S. *Rainwater Harvesting Systems to Promote Sustainable Water Management // Proceedings of the 8th Brunei International Conference on Engineering and Technology (BICET 2021)*. – Bandar Seri Begawan : Universiti Teknologi Brunei, 2021.

22 Reddy G.P., Kannan K. *Socio-economic Aspects in Watershed Planning and Management // Kurukshetra*. – New Delhi : Ministry of Rural Development, 2002. – Vol. 50, № 11.

23 Santamarta Cerezal J.C. *Estudio y evaluación de las hidrotecnias e infraestructuras hidráulicas para la prevención de la desertificación en el archipiélago Canario // SECF. Reuniones de los grupos de trabajo. Libro de actas. Hidrología Forestal*. – 2008.

24 Santamarta Cerezal J.C. *Study of Techniques to Increase Water Resources and Run-Off in Semiarid Regions. The Case of the Canary Islands and Israel // Journal of the Faculty of Forestry, Istanbul University*. – 2012. – Vol. 62, № 1. – P. 11–18.

25 SAS Institute Inc. *SAS/ETS Software: Changes and Enhancements, Release 8.2 [Электронный ресурс]*. – Cary, NC : SAS Institute Inc., 2001. – P. 53–97. – Режим доступа: <http://support.sas.com/md/app/da/new/802ce/ets/etsce.pdf> (дата обращения: 09.06.2026).

26 Shakya B., Thanju J.P. *Technical Guidelines for Installation of Rainwater Harvesting System and Its Operation // Hydro Nepal: Journal of Water, Energy and Environment*. – 2013. – № 12. – P. 45–51.

27 Souza T.D., Ghisi E. *Harvesting rainwater from scaffolding platforms and walls to reduce potable water consumption at buildings construction sites //*

Journal of Cleaner Production. – 2020. – Vol. 258. – Art. 120909. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120909.

28 Sustainable Business Toolkit. *What Is a Green Roof?* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sustainablebusinesstoolkit.com/what-is-a-green-roof/> (дата обращения: 12.06.2026).

29 Thomas T.H., Martinson D.B. *Roofwater Harvesting: A Handbook for Practitioners*. – Delft : IRC International Water and Sanitation Centre, 2007. – 160 p. – (Technical Paper Series; No. 49). – ISBN 978-90-6687-057-4.

30 Tiwari A. *Rainwater Harvesting through Check Dams for Integrated Watershed Management in Karkara Basin: A Geographical Analysis* // International Journal of Social Impact. – 2024. – Vol. 9, № 3. – P. 55–61. – DOI: 10.25215/2455/0903007.

31 UNESCO. *The United Nations World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace* [Электронный ресурс]. – Paris : UNESCO, 2024. – 153 p. – Режим доступа: <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2024> (дата обращения: 26.05.2026).

32 UN-Water. *Water Scarcity* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.unwater.org/water-facts/water-scarcity> (дата обращения: 26.05.2026).

33 Velasco-Muñoz J.F., Aznar-Sánchez J.A., Batlles-de la Fuente A., Fidelibus M.D. *Rainwater Harvesting for Agricultural Irrigation: An Analysis of Global Research* // Water. – 2019. – Vol. 11, № 7. – Art. 1320. – DOI: 10.3390/w11071320.

34 Verbist K., Cornelis W.M., Gabriels D., Alaerts K., Soto G. *Using an inverse modelling approach to evaluate the water retention in a simple water harvesting technique* // Hydrology and Earth System Sciences. – 2009. – Vol. 13, № 10. – P. 1979–1992.

35 Zheng Y., Ross A., Villholth K.G., Dillon P. (eds.). *Managing Aquifer Recharge: A Showcase for Resilience and Sustainability*. – Paris : UNESCO Publishing, 2021. – 365 p. – ISBN 978-92-3-100488-9.