



Кяризы и перспективы их современного использования в Казахстане

А. К. Султанбекова^{*1}, А. В. Митусов², А. Азами³, Ж. М. Сагинтаев⁴

¹ АО «НК «Қазақстан Ғарыш Сапары», Управление обработки снимков, пр-т Туран, 89, Нур-Султан, 010000, Казахстан

² Казахстанско-немецкий университет, ул. Пушкина, 111, Алматы, 050010, Казахстан

³ Национальный координатор организации «Молодежь Афганистана за воду», Центр водных ресурсов, Джамал Мина, Кабул, 1001, Афганистан

⁴ Кластер окружающей среды и ресурсосберегающих технологий (EREC), Назарбаев Университет, пр-т Кабанбай Батыра, 53, Нур-Султан, 010000, Казахстан

*для корреспонденции: aigerims10.29@gmail.com

Подана в редакцию: 28 января 2021; Подана после редактирования: 7 сентября 2021; Принятие к публикации: 16 сентября 2021; Доступ онлайн: 4 ноября 2021.

МРНТИ 37.27.51

doi 10.29258/CAJWR/2021-R1.v7-2/97-120.rus

Аннотация

Кярыз (кариз, канат) – одна из древних систем водоснабжения в засушливых регионах. Главным достоинством кяризов является естественный сбор грунтовых вод, идущих с гор, и транспортировка этой воды к орошаемым полям. Целью данной статьи является внедрение в среду центральноазиатских гидрологов, гидрогеологов и аграриев идеи о возможностях использования технологий и сооружения кяризов в наши дни на примере соседних стран и древнего городища Сауран в Туркестанской области Казахстана.

В результате работы по космоснимкам были дешифрированы три кяриза в районе Саурана. На основе цифровой модели рельефа был проведен их геоморфологический анализ в специализированной ГИС «Эко»; рассчитаны значения максимальной площади сбора (МПС) материнского колодца (начало кяриза).

В результате выявлено, что сами кяризы расположены в водораздельной области с низкой МПС. Однако материнские колодцы находятся в непосредственной близости от зон с большими значениями МПС. 300 га было достаточно для сбора грунтовых вод, обеспечивавших питание всей ирригационной системы в древности.

Современные примеры стран-соседей и археологические объекты на территории Казахстана доказывают возможность применения технологии кяризов в современных условиях. Внедрение данной практики позволит ввести в сельскохозяйственный оборот земли предгорных районов Южного Казахстана и исключить потери воды на испарение при хранении и транспортировке.

Ключевые слова: кярыз, кари́з, канат, система галерей, Центральная Азия.

1. Введение

Кяриз (кариз) – это древний вариант горизонтального колодца. Самая сложная форма кяриза включает в себя веер подземных туннелей, выходящих из водоносного горизонта в разных точках (Anderson, 1993). Затем кяриз под действием силы тяжести переносит воду на открытую поверхность суши.

В результате использования различных диалектов и языков в исторических и современных источниках упоминаются разные термины, что усложняет поиск литературы. В Центральной Азии такая система называется кяризом, или каризом, в Афганистане и Иране – канатом, в Испании и Латинской Америке – галереями.

Столетиями ранее люди применяли такую систему водоснабжения в засушливых районах, что помогало накапливать, хранить и транспортировать воду. Географическое распространение кяризов было задокументировано от Западного Китая (Mustafa, Qazi, 2007) до Северной Африки (Hussain et al., 2008) и Испании (Wilkinson et al., 2012). Существуют разные взгляды на точный период изобретения кяриза, который, возможно, относится к 2000–3000 гг. до н. э. (Fattahi, 2015). Большинство авторов считают, что кяриз впервые был изобретен в Иране или вокруг него (Wilkinson et al., 2012).

В ходе проекта ИНТАС 2000-699 в 2003–2005 гг. (Сайт Лаборатории геоархеологии, 2021), который был посвящен геоархеологическим исследованиям землеустройства и ирригационных работ в Казахстане в настоящее время и в прошлые исторические времена, были изучены и оценены экологический и сельскохозяйственный потенциалы региона, задокументированы археологические памятники и собраны этнографические материалы. На территории Казахстана в Туркестанской области, к северу от древнего города Сауран, между реками Тастаксай и Майдантал, были обнаружены системы кяризов, протяженность которых составила 110 км (Сала, Деом, 2006).

В процессе обзора русскоязычной литературы мы практически не обнаружили публикаций не только о кяризах на территории древнего Саурана, но и материалов, обсуждающих достоинства и недостатки этой системы водоснабжения на территории Центральной Азии и в других странах. В частности, последняя публикация, описывающая археологическое строение и применение сауранских кяризов в древности, относится к 2010 году (Смагулов, 2010).

Если в прошлом эксплуатация кяризов была широко распространена на территории Шелкового пути, а сегодня активно применяется в Китае, Иране и Афганистане, то в настоящее время этот опыт практически полностью утерян в Центральной Азии. И только археология напоминает о былых технологиях на территории Казахстана. Для внедрения этого опыта в актуальную практику необходимо провести специальный комплекс геоморфологических и гидрологических исследований на современном уровне развития науки. Важнейшей стратегической задачей является

выявление потенциала кяризов для рационального использования водных ресурсов в наши дни.

Целью данной статьи является внедрение в среду центральноазиатских гидрологов, гидрогеологов и аграриев идеи о возможностях использования технологий и сооружения кяризов в наши дни на примере соседних стран и древнего Саурана в Туркестанской области Казахстана. Этой статьей мы хотим привлечь внимание ученых и побудить их начать активные исследования в данном направлении.

2. Кяризы: литературный обзор

2.1. Устройство кяриза

Кяриз (kariz, kanat, или qanat, falai, rettara и др.) представляет собой гидротехническое сооружение, предназначенное для самотечного вывода на поверхность грунтовых вод. Ключевым элементом кяриза является подземный водовод с минимальными углами наклона, в виде сводчатой галереи, один конец которой врезается в водоносный слой, а другой выходит на поверхность земли. На рис. 1 представлена схема кяриза в поперечном сечении и плане.

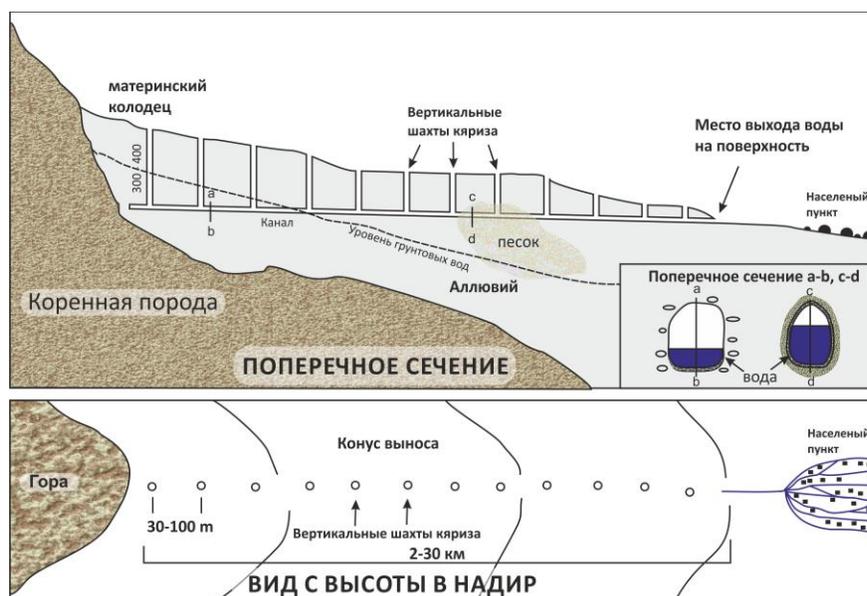


Рисунок 1. Поперечное сечение и вид сверху на кяриз (English, 1998).

Строятся кяризы преимущественно в слабонаклонных пустынных и полупустынных предгорьях для водоснабжения сельскохозяйственных оазисов и их городских центров (Смагулов, 2003). Благоприятные топографические условия для относительно коротких кяризов часто возникают у устьев сухих аллювиальных долин. Длинные кяризы строят как водоводы от доступных источников подземных вод (Alemohammad, Gharari, 2017).

Поскольку кяризы могли обеспечить надежный и устойчивый доступ к ранее недоступным запасам грунтовых вод, люди во всей засушливой зоне приняли их использование, несмотря на значительные финансовые расходы и затраты времени на строительство и обслуживание.

Грумм-Гржимайло (1896, 326–327) в своих заметках описывает устройство и принцип действия кяризов (карысей) так: «В местности, известной населению не глубоким сравнительно залеганием водосодержащих слоев, роется головная «дудка», т. е. узкий и глубокий колодезь, который заканчивается в этих слоях; отступая сажени четыре (примерно 8 м – *примеч. авторов*) <...> роется вторая такая же дудка, потом третья, четвертая, сотая, до тех пор, пока их глубина не дойдет до сажени (примерно 2 м – *примеч. авторов*); тогда эти «дудки», начиная с последней, <...> соединяются между собой каналом, прорезающим таким образом во всю их длину водосодержащей почвы. <...> Для того, чтобы увеличить струю карысной воды, в магистральный канал проводятся ветви <...> С высоты птичьего полета большая часть поверхности покажется нам точно изрытой какими-то гигантскими землеройками с тем, впрочем, отличием, что значительные кучи земли <...> вытянуты стройными линиями. Это и есть карыси».

По мнению Sala (2008) и Смагулова (2010), теория использования кяриза заключается в том, что он предназначен для подъема уровня грунтовой воды вдоль всего маршрута. Конструкция не использует подземные галереи, построенные на непроницаемом пласте, а полностью выкапывается до водоносного уровня.

В своей работе English (1998) описывает строительство кяризов, или канатов, в Иране и отмечает, что успех определяется двумя решениями, принятыми муканни (профессиональными землекопами кяризов в Иране) до начала фактического строительства кяриза. Первым из них считается верное определение местонахождения материнского колодца, который отмечает наибольшую протяженность каната от поселения; второй – правильный и точный расчет уклона от материнского колодца до места назначения кяриза. Когда муканни выбирает потенциальное место для материнского колодца, один или несколько пробных колодцев выкапываются до уровня грунтовых вод. Муканни принимает во внимание множество географических факторов в отношении того, где расположены эти колодцы. Среди этих факторов – условия местного склона, рельеф местности, незначительные изменения в растительности, доступные грунтовые воды и предполагаемое направление воды. Как сообщает English (1998), после того как пробный колодец показал воду, муканни должен быть уверен, что землекопы проникли в относительно постоянный источник грунтовых вод, расположенный на непроницаемом слое. Если это так, то это становится материнским колодцем каната, длина которого будет измеряться от этой точки до места назначения воды (мазхара). Затем муканни должен точно измерить уровень и уклон туннеля кяризов, что является самой сложной инженерной задачей во всем процессе строительства. Уровень должен соединять наполненное водой основание материнского колодца с точкой выхода воды на поверхность посредством пологого туннеля. Если

уровень просчитан неправильно и кяриз выходит на некотором расстоянии от установленной точки выхода воды, то вода будет стекать по открытому каналу из этой точки ниже в дома или поля, тем самым увеличивая как испарение, так и просачивание. Если уклон туннеля будет слишком крутым, вода, устремленная вниз по его руслу, разрушит стены и кяриз. Если уклон слишком пологий, вода в туннеле образует пруд и застаивается. Во многих случаях туннель кяризов следует непрямым, извилистым путем к месту назначения, изгибаясь для поддержания надлежащего уклона на крутых склонах. Вертикальные стволы технических колодцев соединяют туннель с поверхностью примерно каждые 50–100 м.

Несмотря на большие трудозатраты на строительство и уход, явным преимуществом систем кяризов является их независимость от сезонных колебаний. При малых потерях влаги на испарение они обеспечивают населенные пункты стабильным снабжением чистой и холодной питьевой водой. Потери воды из-за просачивания уменьшаются за счет облицовки туннелей глиняными обручами (керамическими кольцами) и укладкой слоев непроницаемой глины, когда туннель проходит через рыхлый песок (Abbasnejad et al., 2016).

Моделирование MODFLOW показывает, что поступление воды из кяриза можно смоделировать, наложив высокое отношение гидравлической проводимости кяриза к гидравлической проводимости водоносного горизонта на ячейки, представляющие кяриз. Macpherson et al. (2017) разработали модель, чувствительную к гидравлической проводимости, градиенту кяриза и длине кяриза, контактирующего с поверхностью грунтовых вод. Это исследование характеризует гидравлику кяриза, возможность уменьшения пополнения запасов подземных вод из-за изменения климата и влияние увеличения численности населения на дебит воды кяриза.

Устройство кяризов свидетельствует о том, что при правильном строительстве и эксплуатации данная система водоснабжения является одним из приемлемых вариантов для аридного и семиаридного климата (Taghavi-Jeloudar et al., 2013; Megdiche-Kharrat et al., 2019). Кроме этого, экологичность кяризов позволяет рационально использовать водные ресурсы без привлечения дополнительных затрат на работу насосов. А исследования, проводимые современными инструментами моделирования, показывают применимость и возможность усовершенствования ранее построенных кяризов.

2.2. Кяризы в Иране, Афганистане, Китае и Испании

Особо широкое распространение кяризы получили в условиях засушливого Иранского плато в ахеменидскую эпоху VIII–III вв. до н. э. (Beaumont, 1971). Вероятно, первые кяризы были построены в целях отвода воды из горных выработок, шахт. Во всяком случае, именно такие дренажные системы в горном Курдистане впервые упомянуты Полибием (II в. до н. э.). В эпоху древних государств (Иран, Урарту, Ассирия, Мидия и др.) строительство кяризных оросительных систем стало частью государственной политики (Avni, 2018). С этого времени и до наших дней многие крупные города Ирана – Тегеран, Нишапур, Иезд, Кум и т. д., а также целые

сельскохозяйственные оазисы обеспечивались водой исключительно из кяризов, которых в стране насчитывалось многие тысячи (Hussain et al., 2008). Пример иранских кяризов приведен на рис. 2.



Рисунок 2. Кяризы в Иране, дешифрируемые как цепочки пятен (Google, n.d.).

Население Афганистана, живущее вдали от рек, традиционно полагается на грунтовые воды, доставляемые из кяризов. Типичный кяриз в Афганистане имеет длину 1–2 км, поперечное сечение 1–2 м² и уклон 1 м на 1 км длины. Космоснимок такого кяриза показан на рис. 3. Афганские кяризы эксплуатируют безнапорные грунтовые воды в аллювиальных контурах, которые пополняются в основном за счет таяния снега из Гиндукуша, центрального горного хребта страны. После многолетней засухи, начавшейся в 1998 г., многие кяризы вышли из строя.



Рисунок 3. Типичные кяризы на территории Афганистана. Видны как цепочки светлых пятен (Google, n.d.).

Данных об осадках в Афганистане мало, но региональные исследования показывают долгосрочную тенденцию к уменьшению снежного покрова и, следовательно, высокую вероятность уменьшения подпитки водоносного горизонта. Кроме того, население Афганистана увеличилось за последние несколько десятилетий. Оценка региона с шестью районами в провинции Кандагар, где кяризы являются наиболее традиционным способом сбора и транспортировки воды, показывает, что спрос на воду мог вызвать снижение уровня грунтовых вод на 0,8–5,6 м, что более чем достаточно, чтобы остановить функционирование кяризов. Эти результаты предполагают, что приток воды по кяризу не является устойчивым при нынешних тенденциях изменения климата и роста населения (Macpherson et al., 2017).

В античную эпоху системы кяризов проникли в Северную Африку, затем в раннем средневековье их стали широко применять в Китае (Mächtle et al., 2019). Например, в Турфанской долине Западного Китая по спутниковым снимкам на рис. 4 видно, что система кяризов активно применяется для орошения полей и сегодня.



Рисунок 4. Кяризы в Турфанской долине, Китай. Колодцы кяризов видны как длинные цепочки светлых пятен (Google, n.d.).

В Испании кяризы называются системой галерей. Система кяризов в Испанию пришла с арабской культурой, позже эта технология была распространена испанцами на территорию Нового Света. В Испании система кяризов сосредоточена в южных регионах и в центральной части страны. При университете Валенсии создана научная группа, которая занимается классификацией кяризов и их изучением (Gerrard, Gutiérrez, 2018). Важность кяризов в развитии Испании подтверждается тем, что даже водоем при Королевском дворце в Мадриде снабжался водой через системы подземных галерей – кяризов (Martínez-Santos, Martínez-Alfaro, 2014).

Таким образом, можно сделать вывод, что технология кяризов, зародившаяся на территории Ирана, начала активно распространяться по области Шелкового пути, далее под влиянием арабской культуры проникла в Испанию и уже испанцами была завезена в Новый Свет. Со временем система усовершенствовалась и теперь активно эксплуатируется для водоснабжения чистой водой населенных пунктов сельскохозяйственных полей многих стран. Более того, системы кяризов в Иране и галерей в Испании имеют статус культурного наследия и являются туристическими достопримечательностями.

3.3. Кяризы в Казахстане

Первые упоминания о кяризах на территории современного Казахстана найдены в трудах таджикского писателя XV века Махмуда Вазифи. В своей книге «Невероятные события» он упоминает о Туркестанском оазисе и о том, что мусульманский шейх Мир-Араб подарил древнему городищу Сауран две линии кяризов, построенных силами 200 индийских рабов и питающих дивный сад (Вазифи, XV в.). Также Вазифи отмечает, что

глубина колодцев равна 200 гязам. 1 гяз равен 60,6 см (Имажанов, Бейсенбаева, 2002), следовательно, их глубина составляла около 120 м.

Средневековые источники воодушевили исследователей на первые археологические раскопки и исследования кяризов Туркестанского оазиса в 50-х гг. XX столетия. Однако они были обнаружены лишь при дешифрировании аэрокосмических снимков в 1969 г. Во время археологической экспедиции 1986–1988 гг. были найдены 3 линии кяризов, хотя при раскопках колодцев на глубине 4 м подземных галерей не было обнаружено (Грошев, 1996).

В экспедиции 2003–2005 гг. были обнаружены 256 линий кяризов (без раскопок), общая протяженность которых составляет 110 км и включает приблизительно 900 колодцев (Сала, Деом, 2006). Кроме этого, 2010 году состоялась экспедиция «Сауран 2010» в окрестностях городища Сауран. В ходе раскопок было найдено и паспортизировано 18 объектов. 12 из них представляют собой средневековые жилища, 2 – кяризы, 3 – хозяйственные хранилища и 1 – религиозно-культурное сооружение типа чилляхана (Сайт ТОО «Археологическая экспертиза», 2020).

В национальной энциклопедии Казахстана (2004) отмечено, что в городе Туркестан был случайно обнаружен колодец кяриза у здания чилляханы аулие Кумшиката (подземное культовое сооружение), расположенной в одном километре к юго-востоку от мавзолея Ходжи Ахмеда Ясави. Натурные исследования кяриза позволили впервые проследить всю стратиграфию колодцев, впервые раскопки кяриза были доведены до водоносного слоя, и впервые удалось установить его реальную глубину.

Как видим, персидская и арабская культуры через Великий шелковый путь повлияли не только на хозяйство и культуру средневекового Казахстана, но и на строительную инженерию гидротехнических сооружений того времени. Пример древнего Саурана доказывает актуальность систем кяризов в эпоху средневековья на территории современного Казахстана, что наталкивает на мысль о необходимости внедрения данных технологий и сооружений в настоящее время как альтернативы открытым арыкам и водохранилищам.

3. Район исследования

Натурная часть данной статьи опирается на анализ кяризов, расположенных в районе городища Сауран в Туркестанской области Казахстана. На рис. 5 представлена карта древних поселений и кяризов. Исследуемый район расположен на аллювиальной равнине между южными склонами гор Большого Каратау и правым берегом среднего течения реки Сырдарья. Равнина полигона имеет пологий уклон на юго-юго-запад на высоте от 320 до 200 м над уровнем моря со средним уклоном 4/1000 м (0,4 %); пересекается дельтовидным средне-низким течением трех сезонных водотоков. Он представляет собой типичный пустынный ландшафт Северного Тянь-Шаня Каратауского района, характеризующийся светло-коричневыми пустынными почвами и кустарниковой растительностью полупустынь с волнистым рельефом (Sala, 2008).

По территории проходят притоки (в основном сезонные) дельтовидного средне-низкого течения трех рек, текущих с севера на юг от южных гор Каратау в сторону Сырдарьи: Тастаксай на западе, Майдантал 10–12 км на восток, Аксай между ними. Река Тастаксай имеет длину 60 км и заканчивается к юго-западу от Саурана. Река Майдантал протяженностью 75 км – единственная река, изредка впадающая в Сырдарью, которая имеет самый большой поток поверхностных и подземных вод.

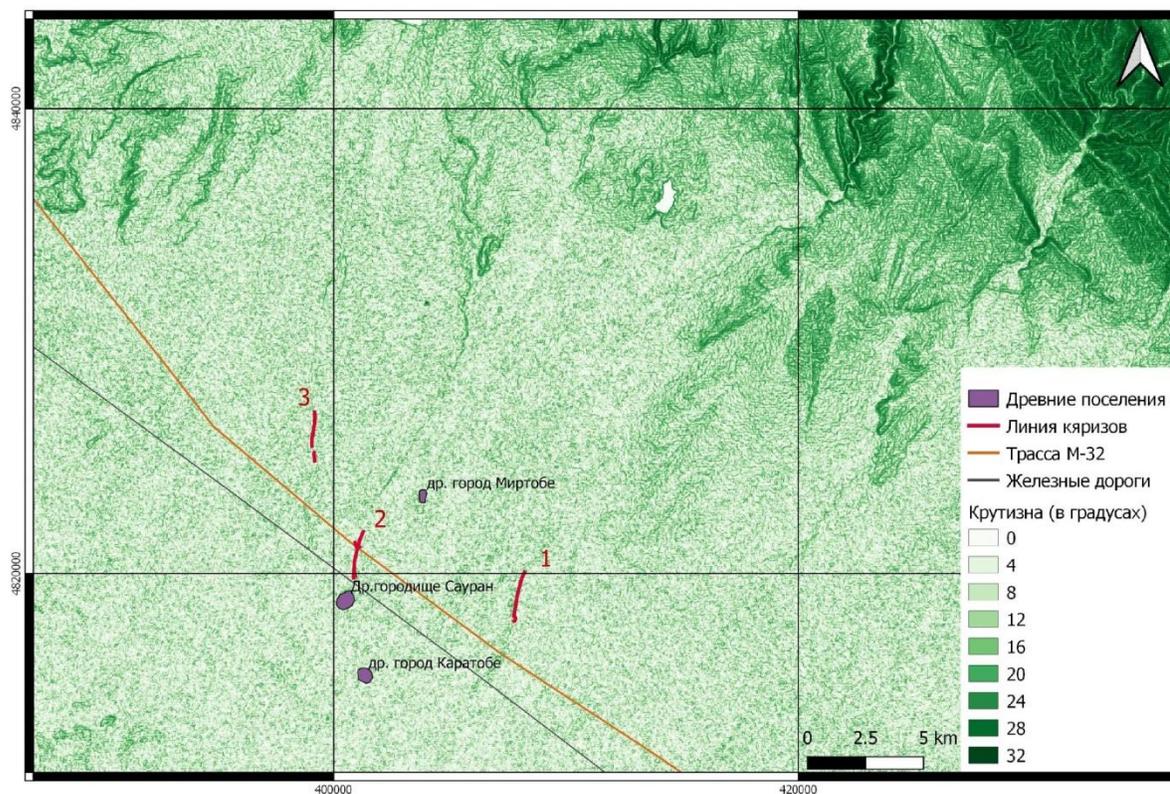


Рисунок 5. Карта древних поселений Саурана, Каратобе и Миргобе.

Река Аксай, протяженностью всего 25 км, заканчивающаяся перед Каратобе, безусловно, наименее актуальна, но из-за ее центрального и депрессивного положения имеет средне-низкое течение, питаемое за счет слияния некоторых сухих водотоков и подземных вод других ручьев. За исключением некоторых сегментов основных каньонов Тастаксая и Майдантала, которые представляют, по крайней мере, скудный постоянный сток круглый год, все другие русла рек либо полностью пересыхают, либо периодически активны только в весеннее время. Средне-низкие течения трех рек имеют сложные параллельные, расходящиеся и сходящиеся рукава и в целом представляют собой три дельты, которые объединяют часть своих подземных вод и сходятся все вместе в районе старых городов Каратобе и Сауран (Sala et al., 2010).

Влажные климатические фазы, происходящие на протяжении десятилетий и столетий, могут глубоко изменить гидрологические условия территории, определяя

гораздо более высокий водный режим, наводнения и многолетние болота. Строительство в советское время двух крупных водохранилищ в предгорной зоне на реках Тастаксай и Майдантал уменьшило гидрологические и гидрогеологические ресурсы южных частей территории (Sala et al., 2010).

Основные геоморфологические особенности аллювиальной равнины определяются характеристиками водотоков дельт трех вышеописанных рек. Они позволяют нам различать с севера на юг 3 высотные полосы, которые также обладают различными гидрогеологическими особенностями и связаны с конкретными технологиями водопользования. Северная полоса между 320 и 260 м над уровнем моря, образованная непосредственной предгорной равниной с уклоном на 1 %, в продольном направлении пересекается отдельными небольшими ручьями, действующими круглый год. Центральная полоса между 260 и 215 м над уровнем моря, где русла рек приобретают дельтовидную форму и их русла начинают сходиться, имеет более аномальный рельеф, состоящий из чередующихся положительных форм и впадин. Южная полоса между 215 и 200 м над уровнем моря, расположенная в месте окончательного схождения трех дельт, очень плоская, с плохим дренажем и широкими сезонными болотами (Сала, Деом, 2006).

Таким образом, климатические условия региона были благоприятны для использования систем кяризов в прошлом. Необходимо повторно подчеркнуть, что одним из условий успешного строительства кяризов считается не сильно крутой и не слишком пологий склон, что и наблюдается в данной местности. Это означает, что рельеф исследуемого района хорошо подходит для сооружения кяриза как в древнее время, так и сейчас.

4. Методология

Для определения точного местоположения систем кяризов были дешифрированы космические снимки территории Туркестанской области в районе древних городищ Сауран, Миртобе и Каратобе на предмет специфических цепочек колодцев и особенно местоположения материнского колодца. Космоснимки доступны из открытых источников Google Earth (Google, n.d.) и имеют разрешение в плане до 0,3–0,5 м. Снимки сделаны в период 2018–2019 гг.

Для анализа рельефа применяли цифровую модель рельефа (ЦМР) с разрешением 1 дуговая секунда или 30 м, полученную в ходе известного проекта SRTM (USGS EROS Customer Services, 2018).

ЦМР была перепроецирована на равноплощадную метрическую систему координат с помощью алгоритмов Q-GIS. По этой ЦМР была рассчитана карта максимальной площади сбора (МПС) в аналитической ГИС Эко (Shary et al., 2002). Определение МПС следующее: МПС отображается для данного элемента ЦМР как максимальная площадь, из которой может собираться материал, движущийся вниз по склону, единица измерения м^2 . На практике МПС отражает как потенциальную, так и

реализованную сеть гидрологических каналов, не различая их. Чем темнее элемент матрицы, тем больше МПС (Shary et al., 2002).

Методология исследования данного района основывалась на наличии открытых источников данных – спутниковых снимков, ЦМР и инструментов ГИС. Наличие этих материалов и инструментов позволило провести экспериментальную часть работы камерально с минимальным бюджетом.

5. Результаты

В таблице 1 приведены координаты крайних точек кяризов, дешифрованных по космоснимкам и указанным на карте рис. 5. Детальные карты местоположения кяризов и матрицы МПС показаны на рис. 6, 7 и 8. Также ниже представлена таблица 2 с координатами точек, характеризующихся максимальными значениями МПС в области материнских колодцев кяризов.

Таблица 1. Координаты точек вершин кяризов в системе WGS84 UTM42

№ кяриза	№ точки	X (м)	Y (м)	Z (м)
1	k1-A	408211,27	4820037,56	223
1	k1-B	407762,76	4817943,03	214
2	k2-A	401276,39	4821789,63	213
2	k2-B	400865,44	4819814,63	208
3	k3-A	399179,26	4826937,81	240
3	k3-B	399189,26	4824852,29	227

Примечание: А – верхняя, В – нижняя точки кяриза.

Таблица 2. Максимальные значения максимальной площади сбора (МПС) в области материнских колодцев

Точка	МПС, га	Высота, м	X, UTM 42	Y, UTM 42
1.1	303	220	408200	4820320
1.2	636	217	407720	4819780
2.1	3624	210	401120	4821910
2.2	1224	212	401510	4821760
3.1	333	238	399410	4827190

Кяризы на космоснимках выделяются цепочкой светлых пятен, представляющих собой насыпи колодцев (рис. 6, 7 и 8). Диаметр насыпей колодцев составляет 4–7 м, они находятся в среднем на дистанции 15–20 м друг от друга.

Обнаруженные кяризы расположены на приводораздельных участках вдоль долин

(рис. 6, 7 и 8). Сами долины, ограничивающие кяризы, скорее всего всегда были сухими, хотя нельзя исключать формирование временных водотоков на поверхности в определенные периоды в течение года.

Вершины кяризов не упираются в водотоки, но близко подходят к руслам сухих долин. Максимальная площадь поверхностного стока этих долин в районе вершин кяризов варьирует (таблица 2). Точки замеров обозначены на рис. 6–8, где отдельно показан каждый кяриз. Интересным моментом при анализе карты площади водосбора является то, что на точках, где находятся сами колодцы кяризов, МПС стремится к 0. Это объясняется тем, что линия кяризов находится в области водораздела.

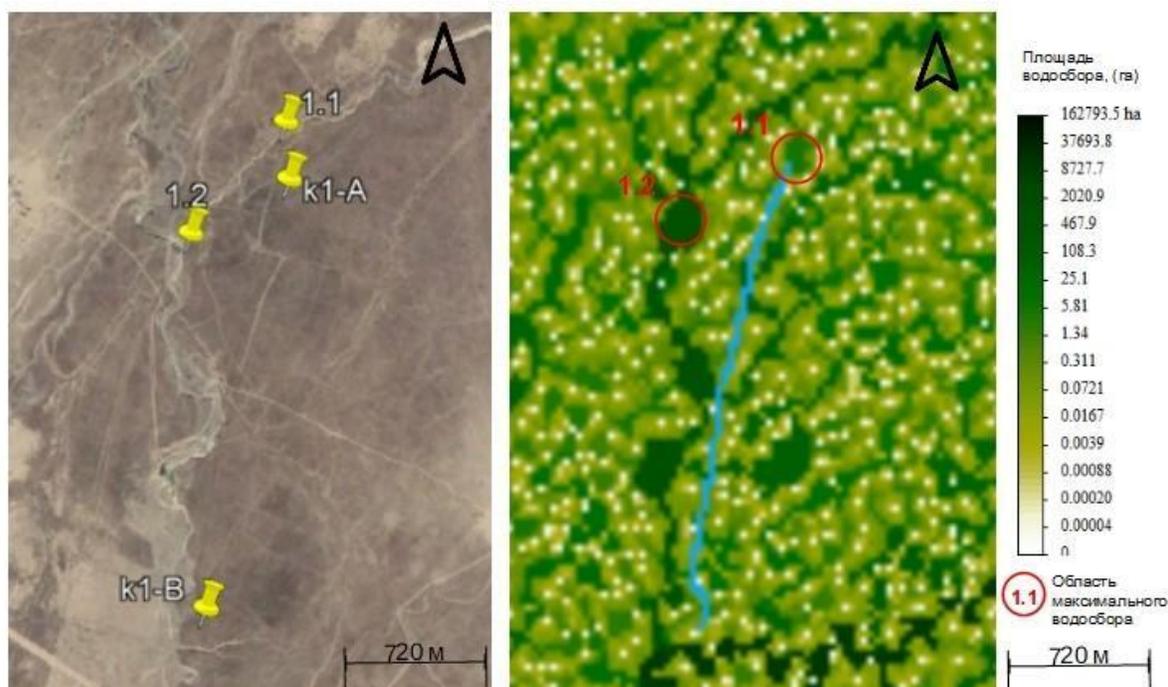


Рисунок 6. Система кяриза № 1 (Google, n.d.) и карта максимальной площади сбора (МПС). Номерами обозначены края кяриза (k1-A, k1-B) и места наибольших значений МПС (1.1 / 1.2) в области материнского колодца.

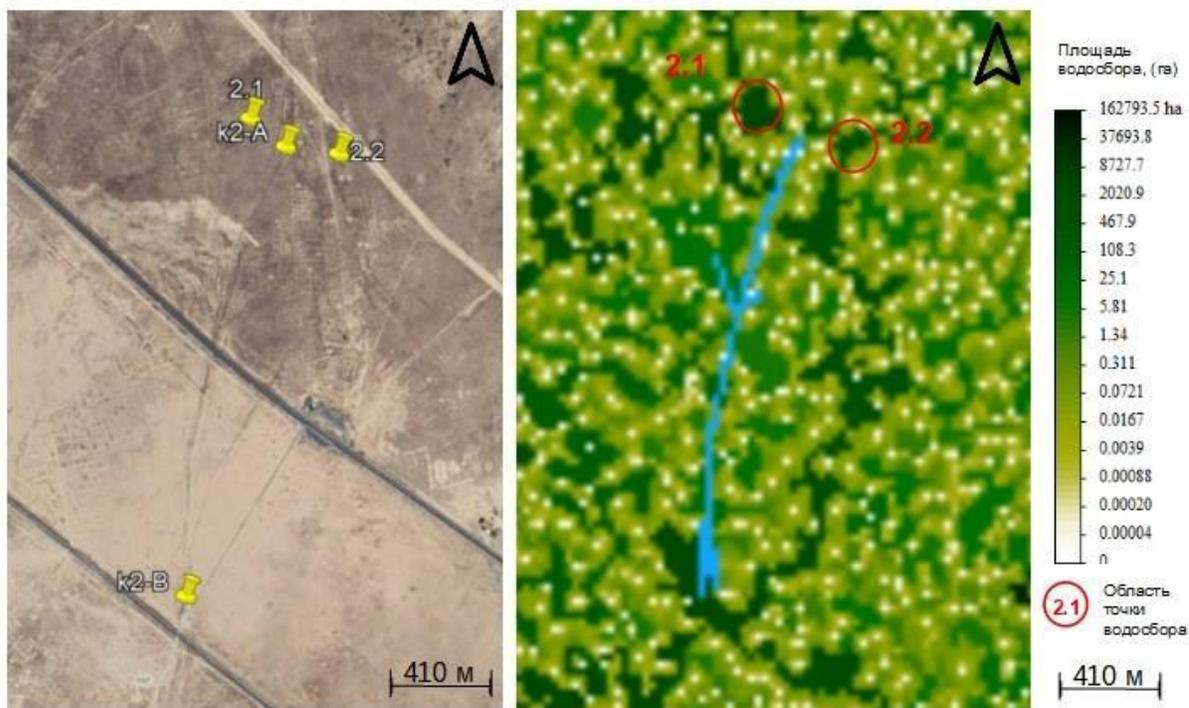


Рисунок 7. Система кяриза № 2 (Google, n.d.) и карта максимальной площади сбора (МПС). Номерами обозначены края кяриза (k2-A, k2-B) и места наибольших значений МПС (2.1 / 2.2) в области материнского колодца.



Рисунок 8. Система кяриза № 3 (Google, n.d.) и карта максимальной площади сбора (МПС). Номерами обозначены края кяриза (k3-A, k3-B) и места наибольших значений МПС (3.1) в области материнского колодца.

На основании результатов, полученных путем анализа спутниковых снимков, рельефа и карты площади водосбора, выявлено, что кяризы Саурана расположены в водораздельной области с низкой МПС, но материнский колодец всегда находится в непосредственной близости от зон с высокими значениями МПС (таблица 2). Причем это касается как кяризов № 1 и № 3, расположенных вдали от современного водотока, так и кяриза № 2, лежащего в непосредственной близости от русла современной реки.

6. Обсуждение результатов

6.1. Кяризы в древности

По проведенным археологическим исследованиям и беседам участников экспедиций со старожилами поселений Туркестана и близ аулов отмечено, что есть легенды о подземных галереях под Туркестаном (Туякбаев, 2002). Также в своде о памятниках истории и культуры Казахстана (Свод памятников..., 1994) упоминаются аулы в районе г. Туркестан, названия которых этимологически связаны с термином «кяриз»: Кариз, Кырыккудык, также арык Джука-кариз. Таким образом, в древности регион активно развивался на базе сети кяризов. Исходя из данных таблицы 2, МПС, равной примерно 300 га, хватало для сбора достаточного объема грунтовой воды материнским колодцем. В этой связи можно предположить, что опустение городища Сауран и ближайших поселений произошло не только из-за монгольского нашествия (Абусеитова, 1975), но и вследствие смены климатического периода и прекращения питания кяризов.

6.2. Кяризы в наши дни

Современной задачей является эффективное восстановление и реабилитация кяризов для рационального использования воды. Применяя технологию соседних стран, можно выстроить систему подземных галерей для транспортировки, хранения и накопления воды за счет временных водотоков, осадков, тем самым предохраняя воду от испарения и регулируя уровень грунтовых вод.

В одном из интервью доктор технических наук, проф. Бурлибаев (2020) высказал мнение о том, что практика строительства крупных водохранилищ нарушает естественные природные процессы и приводит к дисбалансу экосистемы. Например, испаряемость воды с поверхности водохранилища Бесарык составляет около 4,5 мм или 8894,1 м³ в день (Үәріуев et al., 2019). Это внушительные цифры потерь, так как в летний период на территории Туркестанской области, как и на основной части территории Южного Казахстана, выпадает мало осадков. Имеет ли смысл делать водохранилища открытого типа в этих условиях?

Многочисленные примеры соседних стран показывают, что технология кяризов жизнеспособна и в XXI в. К примеру, в Индии существует фонд Raani Foundation (Сайт Фонда Raani Foundation, 2020), который занимается внедрением ирригационных систем для рационального использования воды при орошении сельскохозяйственных земель.

Основной технологией, внедряемой этим фондом, как раз и является подземное хранение и транспортировка воды через подземные каналы, которые напоминают подземные галереи. Применяя технологии кяризов с учетом современных инженерных и гидрологических знаний, мы получим уникальный шанс экономии воды и развития сельскохозяйственных угодий в засушливых предгорьях Туркестана и других южных областях Казахстана.

К сожалению, знания по кяризам в Центральной Азии, передававшиеся из поколения в поколение, в настоящее время утеряны. Это не позволяет быстро интегрировать данную технологию в образовательный процесс для подготовки будущих мелиораторов, гидрогеологов и гидрологов. Более того, технология нуждается в переосмыслении с точки зрения современного инженерного дела, поскольку строительство кяризных систем по древней технологии весьма трудозатратно.

В качестве одного из решений мы предлагаем продолжить исследования кяризов в Центральной Азии с точки зрения их современного использования. Необходимо расширить сотрудничество со специалистами из стран, использующих данную технологию в сельском хозяйстве, а также продолжить инвентаризацию археологических памятников Казахстана, связанных с рациональным использованием водных ресурсов в древности.

7. Заключение

На фоне климатических вызовов, стоящих перед Центральной Азией, технология кяризов могла бы сыграть важную роль в адаптации региональных сообществ к новым условиям. Мы надеемся, что данная статья станет мостиком для перетока знаний из среды археологов в сообщества профильных специалистов, отвечающих за современное водоснабжение населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий.

Основные достижения данной работы:

1. В русскоязычную научную среду введены важные англоязычные источники, описывающие устройство, функционирование и технологию использования кяризов в сельском хозяйстве.
2. Показаны примеры функционирующих кяризов в сопредельных странах: Иране, Афганистане, Китае и др.
3. Сделан обзор археологических материалов по древнему городищу Сауран в Туркестанской области Казахстана.
4. На основании геоморфологического анализа обнаружено, что кяризы Саурана расположены в водораздельной области, но материнский колодец находится непосредственно в области зон с максимальной площадью сбора от 303 до 636 га на удалении от поверхностных водотоков. Материнский колодец кяриза № 2, расположенного вблизи постоянного поверхностного водотока, соседствует с областями, характеризующимися максимальной площадью сбора 1224 и 3624 га.

Улучшение технологических возможностей дистанционного зондирования, например получение цифровой модели рельефа с разрешением 1 м позволит рассчитать морфологические показатели более детально и проанализировать местность для создания модели, которая будет выявлять потенциальные места для закладки новых кяризов.

Технологии кяризов имеют следующие достоинства:

- Экологичность – не требуется затрат топлива на обслуживание.
- Рабочие места – кяризы требуют регулярной чистки и ухода, это позволит привлечь большое число работников, что будет служить базой для снижения локальной безработицы.
- Экономичность – недорогое обслуживание, так как требуется только очищение каналов, дорогостоящее оборудование отсутствует.
- Рациональное использование водных ресурсов – вода накапливается за счет осадков, талых вод, регулируется уровень грунтовых вод.
- Оперативность в транспортировке воды – стабильный поток воды за счет уклона рельефа.
- Культура – древние кяризы являются культурным наследием. Их восстановление позволит организовать туристический бизнес на местах.

Основные задачи, которые необходимо решить для возрождения технологии кяризов:

- Создать методику вычисления местоположения материнского колодца и трассы кяриза.
- Нарастить практический опыт проектирования и сооружения кяризов современными средствами.
- Закрыть дефицит компетентных специалистов не только локального, но и регионального уровня в области систем кяризов для грамотной эксплуатации на территории Казахстана и всей Центральной Азии.

8. Благодарности

Команда авторов благодарит организаторов и спонсоров проекта РЭЦЦА и Всемирный банк за финансовую поддержку и мотивацию в развитии научной деятельности по тематике водных ресурсов в рамках проекта «Конкурс студенческих исследований в Центральной Азии». Также хотим отметить ценные советы YouTube-канала «Академическое письмо» (Академическое письмо, 2020), которые помогли структурировать текст и оформить статью.

Авторы выражают особую благодарность коллегам за моральную поддержку и ценные консультации в ходе исследований. В частности, благодарим Вадима Япиева за консультации по расчетам потерь воды от испарения и Хейратуллу Хеджрана (Hejratullah Hejran) за рассказ о кяризах Афганистана.

Список литературы

Абусейтова, М. Х. (1975). Джувайни об «Отрарской катастрофе». *Вопросы истории (КазГУ)*, 7, 111–113.

Академическое письмо. YouTube-канал. Дата обращения 17.02.2020. <https://www.youtube.com/channel/UC4gmv525RjgB2RNqX3QBIQg>.

Бурлибаев, М. (2020). Почему в США сносят водохранилища, а в Казахстане – строят новые? Дата обращения 19.12.2020. <https://informburo.kz/mneniya/malik-burlibaev/pochemu-v-ssha-snosyat-vodohranilishcha-a-v-kazahstane-stroyat-novye.html>.

Вазифи, М. (XV век). Невероятные события. Текст приведен в кн. *Бартольд В. В. (1965). Сочинения*, III, Москва: Наука, 225–226.

Грошев, В. А. (1996). *Древняя ирригация юга Казахстана*. Алматы: Гылым, 180–189.

Грумм-Гржимайло, Г. Е. (1896). *Описание путешествия в Западный Китай. Вдоль Восточного Тянь-Шаня*. СПб.: Издание Императорского русского географического общества, том I, 547 с. Дата обращения: 01.10.2020. https://www.prlib.ru/item/688109#v=d&z=2&n=5&i=9110445_doc1.tiff&y=341&x=392.5

Имажанов, Н., Бейсенбаева, Л. (2002). Геометрия мавзолея Ходжа Ахмеда Ясави (о методах проектирования). *Известия МОН РК, НАН РК. Серия обществ. наук*, 1, 269.

Национальная энциклопедия Казахстана (2004). Алматы: Главная редакция «Казак энциклопедиясы», I.

Сайт Лаборатории геоархеологии (2021). *Проекты*. Дата обращения: 9 января 2021. <http://www.lgakz.org/Work/Work.html>.

Сайт ТОО «Археологическая экспертиза». (2020). *Сауран*. Дата обращения: 2020. <https://www.archeology.kz/ru/1026-sauran.html>.

Сайт Фонда Paani Foundation. (2020). *Transforming rural ecology and the rural economy*. Дата обращения: 2020. <https://www.paanifoundation.in/samruddh-gaon/about-the-spardha/>.

Сала, Р., Деом, Ж.-М. (2006). 235 кяризов региона Сауран. *География Казахстана: содержание, проблемы, перспективы: материалы Международной научно-практической конференции* (апрель, 20–22), Алматы, 342–361.

Свод памятников истории и культуры Казахстана. Южно-Казахстанская область (1994). Алматы: Академия наук Республики Казахстан.

Смагулов, Е. А. (2003). Кяризы Туркестанского оазиса. *Известия МОН РК, НАН РК. Серия обществ. наук*, 1, 172–190.

Смагулов, Е. А. (2010). *Древний Сауран*. Алматы: АБДИ Компани.

Туякбаев, М. К. (2002). Позднесредневековые города Туркестанского оазиса. *Известия МОН РК, НАН РК. Серия обществ. наук*, 1, 184.

Abbasnejad, A., Abbasnejad, B., Derakhshani, R. & Sarapardeh, A. H. (2016). Qanat hazard in Iranian urban areas: explanation and remedies. *Environmental Earth Sciences*, 75(19), 1306. doi: [10.1007/s12665-016-6067-6](https://doi.org/10.1007/s12665-016-6067-6).

Alemohammad, S. H. & Gharari, S. (2017). Qanat: An ancient invention for water management in Iran. *Found in Proceedings of Water History Conference*, Delft, The Netherlands.

Anderson, I. M. (1993). Rehabilitation of informal irrigation systems in Afghanistan. Design Manual. Rome: FAO.

Avni, G. (2018). Early Islamic irrigated farmsteads and the spread of qanats in Eurasia. *Water History*, 10(4), 313–338.

Beaumont, P. (1971). Qanat Systems in Iran. *International Association of Scientific Hydrology. Bulletin*, 16(1), 39–50. <https://doi.org/10.1080/02626667109493031>.

English, P. W. (1998). Qanats and Lifeworlds in Iranian Plateau villages. *Transformations of Middle Eastern Natural Environments: Legacies and Lessons. Bulletin*, 103, 187–205.

Fattahi, M. (2015). OSL dating of the Miam Qanat (KĀRIZ) system in NE Iran. *Journal of Archaeological Science*, 59, 54–63.

Gerrard, C. & Gutiérrez, A. (2018). The qanat in Spain: archaeology and environment. *Water Management in Ancient Civilizations*. Berking J. (Ed.) Humboldt-Universität zu Berlin, 197–226.

Google Earth (n.d.). *Overview*. Google Earth. Retrieved: August 9, 2020 from <https://earth.google.com>.

Hussain, I., Abu-Rizaiza, O. S., Habib, M. A. A. & Ashfaq, M. (2008). Revitalizing a traditional dryland water supply system: the karezes in Afghanistan, Iran, Pakistan and the Kingdom of Saudi Arabia. *Water International*, 33(3), 333–349. <https://doi.org/10.1080/02508060802255890>.

Mächtle, B., Hecht, S., Manke, N., Kromer, B., Lindauer, S., Li, C.-S., Li, Y., Wang, X., Bubenzer, O. (2019). The age and origin of Karez systems of Silk Road oases around Turpan, Xinjiang, PR of China. In *Socio-Environmental Dynamics along the Historical Silk Road*, Springer, Cham, 359–378.

Macpherson, G. L., Johnson, W. C. & Liu, H. (2017). Viability of karezes (ancient water supply systems in Afghanistan) in a changing world. *Applied Water Science*, 7(4), 1689–1710.

Martínez-Santos, P. & Martínez-Alfaro, P. E. (2014). A priori mapping of historical water-supply galleries based on archive records and sparse material remains. An application to the Amanuel qanat (Madrid, Spain). *Journal of Cultural Heritage*, 15(6), 656–664.

Megdiche-Kharrat, F., Ragala, R. & Moussa, M. (2019). Promoting a sustainable traditional technique of aquifer water acquisition common to arid lands: a case study of Ghassem Abad Qanat in Yazd Province (Iran). *Water Supply*, 19(2), 527–535.

Mustafa, D. & Qazi, M. U. (2007). Transition from karez to tubewell irrigation: development, modernization, and social capital in Balochistan, Pakistan. *World Development*, 35(10), 1796–1813. doi:[10.1016/j.worlddev.2007.06.002](https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2007.06.002).

Sala, R., Deom, J. M. & Clarke, D. (2010). The karez of the Sauran region of Central Asia. *Water Science and Technology: Water Supply*, 10(4), 656–663. doi:10.2166/ws.2010.116.

Sala, R. (2008). Underground Water Galleries in Middle East and Central Asia: survey of historical documents and archaeological studies. *Laboratory of Geoarchaeology, Institute of Geological Sciences, Academy of Sciences of Kazakhstan*.

Shary, P. A., Sharaya, L. S. & Mitusov, A.V. (2002). Fundamental quantitative methods of land surface analysis. *Geoderma*, 107(1–2), 1–32. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00136-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00136-7).

Taghavi-Jeloudar, M., Han, M., Davoudi, M. & Kim, M. (2013). Review of ancient wisdom of Qanat, and suggestions for future water management. *Environmental Engineering Research*, 18(2), 57–63. <https://doi.org/10.4491/eer.2013.18.2.057>.

U.S. Geological Survey (2018). USGS EROS Archive – Digital Elevation – Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Дата обращения: 18.06.2018. https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects.

Wilkinson, T. J., Boucharlat, R., Ertsen, M. W., Gillmore, G., Kennet, D., Magee, P., Rezakhani, K. & De Schacht, T. (2012). From human niche construction to imperial power: long-term trends in ancient Iranian water systems. *Water History*, 4(2), 155–176. <https://doi.org/10.1007/s12685-012-0056-9>.

Yapiyev, V., Samarkhanov, K., Tulegenova, N., Jumassultanova, S., Verhoef, A., Saidaliyeva, Z., Umirov, N., Sagintayev, Z. & Namazbayeva, A. (2019). Estimation of water storage changes in small endorheic lakes in Northern Kazakhstan. *Journal of Arid Environments*, 160, 42–55. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.09.008>.

Karizes and Current Prospects for Their Use in Kazakhstan

A.K. Sultanbekova^{*1}, A.V. Mitusov², A. Azami³, J.M. Sagintayev⁴

¹ Kazakhstan Garysh Sapary NC AO, Imagery Processing Unit, 89 Turan Ave., Nur-Sultan, 010000, Kazakhstan;

² Kazakhstan-German University, 111 Pushkin Str., Almaty, 050010, Kazakhstan;

³ National Coordinator of Afghanistan Youth for Water, Water Resource Centre, Jamal Mina, Kabul, 1001, Afghanistan;

⁴ Environment and Resource Efficiency Cluster (EREC), Nazarbayev University, 53 Kabanbay Batyr Ave., Nur Sultan, 010000, Kazakhstan.

*Corresponding author: aigerims10.29@gmail.com

Received: January 28, 2021; Received in revised form: September 7, 2021; Accepted: September 16, 2021; Published online: November 4, 2021.

IRSTI 37.27.51

doi 10.29258/CAJWR/2021-R1.v7-2/97-120.rus

Abstract

The kariz (karez, qanat) represent one of the ancient water supply systems in arid zones. Natural collection of groundwater coming down from the mountains and its transportation to irrigated fields is the main advantage of the kariz systems. This article aims to introduce into the community of Central Asian hydrologists, hydrogeologists, and farmers the idea of the possibility of applying the kariz technologies and constructing them based on the experiences of neighboring countries and the ancient settlement of Sauran (Turkestan Region, Kazakhstan). Satellite imagery allowed identifying 3 (three) karizes around Sauran. The subsequent geomorphological analyses of the digital elevation model was carried out using the specialized ECO GIS-software. Further on, the maximum catchment areas (MCA) of mother wells (kariz beginning) were calculated. As the result, it was revealed that the target karizes themselves were located in the areas with low MCA. However, the mother wells were located in close proximity to the areas with high MCAs. 300 hectares was enough to collect groundwater to feed the entire irrigation system in ancient times. Modern examples from neighboring countries and the archaeological sites on the territory of Kazakhstan prove the possibility of using the kariz technology in current conditions. The introduction of this practice will allow introducing the foothill land in Southern Kazakhstan into agricultural circulation, as well as eliminating water losses due to evaporation during storage and transportation.

Key words: kariz, karez, qanat, drainage galleries, Central Asia.

References

Abbasnejad, A., Abbasnejad, B., Derakhshani, R. & Sarapardeh, A.H. (2016). Qanat hazard in Iranian urban areas: explanation and remedies. *Environmental Earth Sciences*, 75(19), p. 1306 (doi: [10.1007/s12665-016-6067-6](https://doi.org/10.1007/s12665-016-6067-6)).

Abuseitova, M.Kh. (1975). Juvaini about the Otrar Disaster (*Dzhuvajni ob «Otrarskoj katastrofe»*). *Voprosy istorii*, KazSU, 7, pp. 111-113 [in Russian].

- Academic Writing YouTube Channel (accessed: February 17, 2020). Available at: <https://www.youtube.com/channel/UC4gmv525RjgB2RNqX3QBIOg>.
- Alemohammad, S.H. & Gharari, S. (2017). Qanat: An ancient invention for water management in Iran. In *Proceedings of Water History Conference*, Delft, Netherlands
- Anderson, I.M. (1993). Rehabilitation of informal irrigation systems in Afghanistan. Design Manual. Rome: FAO.
- Archaeological Survey LLP (2020). Sauran. Available at: <https://www.archeology.kz/ru/1026-sauran.html>.
- Avni, G. (2018). Early Islamic irrigated farmsteads and the spread of qanats in Eurasia. *Water History*, 10(4), pp. 313-338.
- Beaumont, P. (1971). Qanat Systems in Iran. *International Association of Scientific Hydrology. Bulletin*, 16 1), pp. 39-50 (<https://doi.org/10.1080/026266671094930310>).
- Burlibayev, M. (2020). Why they are demolishing reservoirs in the USA, but building new ones in Kazakhstan? (*Pochemu v SShA snosjat vodohranilishha, a v Kazahstane – strojat novye?*) (accessed: December 19, 2020). Available at: <https://informburo.kz/mneniya/malik-burlibaev/pochemu-v-ssha-snosyat-vodohranilishcha-a-v-kazahstane-stroyat-novye.html>.
- English, P.W. (1998). Qanats and Lifeworlds in Iranian Plateau villages. *Transformations of Middle Eastern Natural Environments: Legacies and Lessons. Bulletin*, 103, pp. 187-205.
- Fattahi, M. (2015). OSL dating of the Miam Qanat (KĀRIZ) system in NE Iran. *Journal of Archaeological Science*, 59, pp. 54-63.
- Geoarcheology Laboratory (2021). Projects. Available at: <http://www.lgakz.org/Work/Work.html>.
- Gerrard, C. & Gutiérrez, A. (2018). The qanat in Spain: archaeology and environment. *Water Management in Ancient Civilizations*. Berking J. (Ed.) Humboldt-Universität zu Berlin, pp. 197-226.
- Google Earth (n.d.). Overview. Google Earth. Retrieved: August 9, 2020 from <https://earth.google.com>.
- Groshev, V.A. (1996). Ancient irrigation in southern Kazakhstan (*Drevnjaja irrigacija juga Kazahstana*). Almaty: Gylym, pp. 180-189 [in Russian].
- Grum-Grzhimailo, G.E. (1896). Description of a trip to Western China. Along the Eastern Tien-Shan (*Opisanie puteshestvija v Zapadnyj Kitaj. Vdol' Vostochnogo Tjan'-Shanja*). In St. Petersburg: *Journal of the Imperial Russian Geographical Society (Izdanie Imperatorskogo ruskogo geograficheskogo obshhestva)*, Book 1, 547 p. Available at: https://www.prlib.ru/item/688109#v=d&z=2&n=5&i=9110445_doc1.tiff&y=341&x=392.5 [in Russian].
- Hussain, I., Abu-Rizaiza, O.S., Habib, M.A.A. & Ashfaq, M. (2008). Revitalizing a traditional dryland water supply system: the karezes in Afghanistan, Iran, Pakistan and the Kingdom of Saudi Arabia. *Water International*, 33(3), pp. 333-349 (<https://doi.org/10.1080/02508060802255890>).

Imazhanov, N., Beisenbayeva, L. (2002). Geometry of the mausoleum of Khoja Ahmed Yassavi (on design methods) (*Geometrija mavzoleja Hodzha Ahmeda Jasavi (o metodah proektirovaniya)*). *News of the Ministry of Education and Science of Kazakhstan, NAS of Kazakhstan. Social Studies Series*, 1, p. 269 [in Russian].

Mächtle, B., Hecht, S., Manke, N., Kromer, B., Lindauer, S., Li, C.-S., Li, Y., Wang, X., Bubenzer, O. (2019). The age and origin of Karez systems of Silk Road oases around Turpan, Xinjiang, PR of China. In *Socio-Environmental Dynamics along the Historical Silk Road*, Springer, Cham, pp. 359-378.

Macpherson, G.L., Johnson, W.C. & Liu, H. (2017). Viability of karezes (ancient water supply systems in Afghanistan) in a changing world. *Applied Water Science*, 7(4), pp. 1689-1710.

Martínez-Santos, P. & Martínez-Alfaro, P.E. (2014). A priori mapping of historical water-supply galleries based on archive records and sparse material remains. An application to the Amanuel qanat (Madrid, Spain). *Journal of Cultural Heritage*, 15(6), pp. 656-664.

Megdiche-Kharrat, F., Ragala, R. & Moussa, M. (2019). Promoting a sustainable traditional technique of aquifer water acquisition common to arid lands: a case study of Ghassem Abad Qanat in Yazd Province (Iran). *Water Supply*, 19(2), pp. 527-535.

Mustafa, D. & Qazi, M.U. (2007). Transition from karez to tubewell irrigation: development, modernization, and social capital in Balochistan, Pakistan. *World Development*, 35(10), pp. 1796-1813. doi:10.1016/j.worlddev.2007.06.002.

National Encyclopedia of Kazakhstan (2004). Almaty: *Main Edition "Qazaq Entsiklopediasy"*, I.

Paani Foundation (2020). Transforming rural ecology and the rural economy. Available at: <https://www.paanifoundation.in/samruddh-gaon/about-the-spardha/>.

Sala, R., Deom, J.-M. (2006). 235 Karizes of Sauran Region (*235 kjarizov regiona Sauran*). Geography of Kazakhstan: content, issues, prospects: materials of the International Scientific and Practical Conference (April, 20-22), Almaty, pp. 342-361 [in Russian].

Sala, R. (2008). Underground Water Galleries in Middle East and Central Asia: survey of historical documents and archaeological studies. *Laboratory of Geoarchaeology, Institute of Geological Sciences, Academy of Sciences of Kazakhstan*.

Sala, R., Deom, J.-M. & Clarke, D. (2010). The karez of the Sauran region of Central Asia. *Water Science and Technology: Water Supply*, 10(4), pp. 656-663 (doi:10.2166/ws.2010.116).

Shary, P.A., Sharaya, L.S. & Mitusov, A.V. (2002). Fundamental quantitative methods of land surface analysis. *Geoderma*, 107(1-2), pp. 1-32. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00136-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00136-7).

Smagulov, E. A. (2003). Karizes of the Turkestan Oasis (*Kjarizy Turkestanskogo oazisa*). *News of the Ministry of Education and Science of Kazakhstan, NAS of Kazakhstan. Social Sciences Series*, 1, pp. 172-190 [in Russian].

Smagulov, E. A. (2010). Ancient Sauran (*Drevnij Sauran*). Almaty: ABDI Company [in Russian].

Summary of historical and cultural monuments of Kazakhstan. South Kazakhstan Region (*Svod pamjatnikov istorii i kul'tury Kazahstana. Juzhno-Kazahstanskaja oblast'*) (1994). Almaty: *Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan* [in Russian].

Taghavi-Jeloudar, M., Han, M., Davoudi, M. & Kim, M. (2013). Review of ancient wisdom of Qanat, and suggestions for future water management. *Environmental Engineering Research*, 18(2), pp. 57-63. <https://doi.org/10.4491/eer.2013.18.2.057>.

Tuyakbayev, M.K. (2002). Late medieval cities of the Turkestan oasis (*Pozdnesrednevekove goroda Turkestanskogo oazisa*). *News of the Ministry of Education and Science of Kazakhstan, NAS of Kazakhstan. Social Sciences Series*, 1, p. 184 [in Russian].

U.S. Geological Survey (2018). USGS EROS Archive – Digital Elevation – Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (accessed: June 18, 2018). Available at: https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects.

Vazifi, M. (XV century). Incredible events (*Neverojatnye sobytija*). In V.V. Bartold (1965) *Writings (Sochinenija)*, III, Moscow: *Science*, pp. 225-226 [in Russian].

Wilkinson, T.J., Boucharlat, R., Ertsen, M.W., Gillmore, G., Kennet, D., Magee, P., Rezakhani, K. & De Schacht, T. (2012). From human niche construction to imperial power: long-term trends in ancient Iranian water systems. *Water History*, 4(2), pp. 155-176. <https://doi.org/10.1007/s12685-012-0056-9>.

Yapiyev, V., Samarkhanov, K., Tulegenova, N., Jumassultanova, S., Verhoef, A., Saidaliyeva, Z., Umirov, N., Sagintayev, Z. & Namazbayeva, A. (2019). Estimation of water storage changes in small endorheic lakes in Northern Kazakhstan. *Journal of Arid Environments*, 160, pp. 42-55. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.09.008>.