



МРНТИ 70.94.03

Оценка тенденций качества и количества воды в Кабульских водоносных горизонтах и описание будущего водообеспечения

Абдулхалим Заряб^{1*}, Али Реза Нури¹, Кай Вегерих², Бьёрн Клёве³
(Abdulhalim Zaryab, Ali Reza Noori, Kai Wegerich, Bjørn Kløve)

¹ Кабульский Политехнический университет, Кабул, Афганистан

² Университет имени Мартина Лютера Галле-Виттенберг, Институт Геонауки и Географии, Германия

³ Университет Оулу, Исследовательский отдел факультета Технологии, Водных ресурсов и Экологической инженерии, Финляндия

* для корреспонденции: abdulhalim.zaryab@yahoo.com

Получено: 12 июня 2017; Принято: 11 сентября 2017; Доступно онлайн: 04 февраля 2018.

Аннотация

Водоснабжение города Кабула находится под серьезным риском из-за отвода подземных вод и загрязнения сточными водами. Чрезмерное использование воды частично объясняется плохой системой управления, длительным военным периодом и нестабильностью в Афганистане. В последние годы были установлены малоглубинные скважины, финансируемые программой помощи, но это наряду с высоким ростом населения также привело к чрезмерному использованию подземных вод. На сегодняшний день около 85 % жителей зависит исключительно от местных и индивидуальных источников подземных вод, преимущественно мелких водоносных горизонтов. Вода, главным образом, извлекается с помощью ручных насосов. В данной статье анализируется состояние и тенденции в системе подземных вод Кабула и оцениваются новые решения для удовлетворения будущего спроса на водоснабжение. Состояние подземных вод показывает, что их уровень быстро снижается (1 м/год), а несколько скважин уже являются высохшими. Кроме того, анализ качества воды в водоносных горизонтах Кабула показывает отрицательную тенденцию качества грунтовых вод в отношении концентрации нитратов, боратов и фекальных микробов (по содержанию бактерий кишечной палочки). Это загрязнение превышает предельно-допустимые значения, определенные ВОЗ. Новые решения для города Кабула были разработаны в генеральном плане будущих водных ресурсов, который обсуждается далее.

Ключевые слова: водоснабжение, программы помощи, водоносный горизонт, чрезмерное использование, нитраты, патогены.

1. Введение

В Кабуле наблюдается быстрый и неконтролируемый рост населения в следствии продолжающегося пребывания беженцев из зон военных действий и инфраструктурных ограничений в сельской местности, где проживает большинство населения страны [1].

Технико-экономическое обоснование расширения системы водоснабжения Кабула, проведенное в 2004 году, показало, что численность населения в 2015 году составила 4 089 000 человек, а потребность в воде около 123,4 млн м³/год [2]. Тем не менее, предполагаемые запасы подземных вод в Кабуле, составляющие примерно 44 млн м³/год, могут обеспечить только около 2 млн. жителей при умеренном потреблении на душу населения – 50 л/сутки [8]. Помимо проблемы связанной с нехваткой водных ресурсов, Кабул является одним из наименее развитых городов мира в плане доступа к чистой воде и эффективности санитарных мер [3].

Затяжные войны и нестабильность привели к коррумпированному управлению водными ресурсами, а нехватка питьевой воды привела к увеличению числа индивидуальных скважин. Многочисленные малоглубинные скважины, которые были сконструированы с международной помощью и оснащены ручными или небольшими электрическими насосами, в настоящее время обеспечивают около 85 % воды. Низкая восполняемость, увеличение населения и неконтролируемый отвод подземных вод в настоящее время являются основной причиной сокращения грунтовых вод. Выщелачивание загрязнителями, например, сточные воды, попадающие через осадочные образования в слои водоносных горизонтов, усугубляют проблему и вызывают повышенную соленость, распространение кишечной палочки и увеличение концентрации нитратов. Разрушенные или несуществующие санитарные и канализационные системы являются главной проблемой.

Цель данного анализа – оценить текущее состояние и тенденции, и изучить другие источники питьевой воды за пределами Кабула. В исследовании используется отчет консультантов и другие источники информации о текущем состоянии, на основании которых сделаны рекомендации. Понимание текущей ситуации может способствовать обеспечению устойчивого развития ресурсов, а также послужит примером системы управления подземными водами в регионах, имеющих аналогичны серьезные проблемы и показатели отчетности.

2. Материалы и методы

2.1. Климат и гидрология

В Кабуле температура воздуха колеблется от среднемесячного минимума в январе -7 °С до среднемесячного максимума в июле 32 °С. Среднегодовое количество осадков в Кабуле составляет 300 мм. Годовые нормы испарения в бассейне реки Кабул составляют приблизительно 1600 мм. Три реки протекают на территории города Кабула и его окрестностей: река Кабул, река Пагман и река Логар. Река Кабул входит в бассейн с юга и далее протекает на север на протяжении 21 км до города Кабул, а затем сворачивает на восток, пересекая область исследования через крутую долину в горах Кохе-Сафи. Река Пагман направляется на восток от Пагманских гор и впадает в реку Кабул в городе Кабул вблизи точки, где река Кабул берет курс на восток. Река Логар - крупный приток реки Кабул, входит в город Кабул с юга через крутую долину и

направляется на север, примерно на 28 км. Река Логар впадает в реку Кабул на восточной окраине города Кабул, примерно в 17 км ниже устья реки Пагман.

2.2. Геология и гидрогеология бассейна Кабула

Город Кабул расположен в основном на плоской местности бассейна реки Кабул, он окружен и находится у основания горных хребтов, состоящих в основном из разнообразных метаморфических пород. Бассейн Кабула представляет собой структуру, которая возникла в результате движения плит в период позднего палеоцена (раннего третичного). Они являются частью Кабульского блока и пересекаются с главным разломом Герат-Бамиан-Панджшер на западе и северо-западе, разломом Сороби на востоке и Чаманской системой разломов на юго-востоке. Окружающие горные хребты и коренные породы состоят, как правило, из разнообразных метаморфических пород, включая гнейсы, амфиболиты, кварциты, сланцы, аспид, мрамор, песчаник, слюду докембрийского возраста и консолидированные породы (известняк, доломит) Пермо-Триасового возраста. Наполнение самого бассейна реки Кабул состоит из скопления местных и озерных отложений, преимущественно Четвертичного и Неогенового возраста, неконсолидированных и полуконсолидированных озерных, речных и эоловых осадочных пород в виде песка, гравия и ила [5, 8, 9].

Регион, ограничивающий водоносный горизонт Кабула, описывается четырьмя основными четвертичными взаимосвязанными водоносными горизонтами. Верхняя часть бассейна Кабула (суббассейн Даруламан-Пагман) имеет два водоносных горизонта, залегающих вдоль реки Пагман и верхнего течения реки Кабул. В нижней части бассейна (суббассейн Кабул-Логар) вдоль реки Логар и нижнего течения реки Кабул залегают два водоносных горизонта. Для водоснабжения в основном используются водоносные горизонты четвертичного и верхнего водоносного горизонта третичного периода.

Восполнение системы подземных вод обеспечивается несколькими путями: 1) восполнением из русла рек, 2) прямым восполнением от избытка осадков, 3) восполнением с подножья холма – таяние снега, 4) восполнением от ирригационных каналов и 5) восполнением инфильтрацией сточных вод, отстойников и выгребных ям. Самый высокий сток реки приходится на апрель-май, когда образуется почти весь поток воды и, когда происходит таяние снега, это также наиболее вероятный период восполнения водоносного горизонта.

2.3. Оценка количества и качества водоносного горизонта бассейна Кабула

Бассейн Кабула состоит из песка, гравийного конгломерата и лёссового суглинка, которые имеют особенно хорошую фильтрационную способность. Основными источниками загрязнения являются дренажные колодцы, канавы дорог, канализация, утечка септиков, река Кабул и ирригационные каналы. В Кабуле нет очистных сооружений для сточных вод. Другими источниками загрязнения подземных вод в

бассейне Кабула, являются скважины, поглощающие сточные воды, существующие твердые захоронения, неконтролируемое распространение твердых отходов, отсутствие центральной системы канализации, чрезмерная эксплуатация подземных вод, отсутствие водораспределительных трубопроводов, низкая осведомленность общественности о связанных с этим проблемах качества воды. Кроме того, низкие годовые осадки и низкое восполнение грунтовых вод в сочетании с высоким уровнем забора подземных вод приводят к отрицательному балансу между забором и восполнением. Это означает, что текущий забор подземных вод является неподдерживаемым, а сокращаемые объемы грунтовых вод не в состоянии растворять увеличенный объем загрязнения грунтовых вод.

Физические, химические и микробиологические параметры грунтовых вод Кабула были проанализированы за последние 16 лет различными организациями (DACAAR, Afghan Geological Survey, USGS, BGR, JICA и др.). Проведенные исследования показывают, что концентрация нитратов и бора в городских районах постепенно увеличивается. Исследования показали, что концентрация других вредных элементов, такие как сульфат, хлорид, бор, натрий и другие, также постепенно возрастает [4, 5].

3. Результаты и обсуждение

3.1. Изменение объема подземных вод

В последние годы наблюдается резкое снижение уровня грунтовых вод (таблица 1). Сравнение данных уровня воды полученных в своих работах Мыслилом и соавторами в 1982 и Акбари и соавторами в 2007, указывает на то, что в предгорных районах уровень воды снизился более чем на 10 м, а в районе города Кабула на 5-6 м. С 2003 по 2016 годы в верхних районах бассейна Кабула уровень воды снизился более чем на 15 м [2]. Причиной снижения уровня грунтовых вод стало увеличение числа жителей, которое удвоилось с 90-х годов.

Темп снижения уровня подземных вод в городе увеличился с 2008 по 2016 гг. (в среднем на 1,7 м/год) по сравнению с 2004 по 2008 год (в среднем 0-0,7 м/год). Многие водяные колодцы были установлены всего на несколько метров ниже уровня водяного пласта и подвержены сезонной засухе, на сегодняшний день 1/3 из них не функционирует. Ресурсы грунтовых вод в городе Кабул, несомненно, сталкиваются с долгосрочными проблемами и проблемами устойчивости, такими как увеличение высыхания малоглубинных водозаборных скважин, в то время как в северной части бассейна Кабула может возникнуть меньше проблем в долгосрочном периоде [10].

Таблица 1. Снижение уровня воды за последние 34 года

Год	Изменение уровня воды (м)	Снижение (м/год)
1982 – 2003	6	0.28
2003 – 2016	15	1.15

3.2. Изменение качества подземных вод

Исследования качества воды показывают отрицательную тенденцию, указывающую на постепенное увеличение загрязнения подземных вод. Анализ качества воды также показывает большое изменение качества подземных вод, особенно в городских районах [5]. Основными факторами влияющими на ухудшение качества подземных вод в Кабуле являются соли, нитраты, жесткость, бор и бактерии кишечной палочки. Микробиологические анализы показывают высокие и увеличивающиеся уровни фекальных (колиформных) бактерий приблизительно в 58-70 % скважин в городских районах Кабула [DACAAR, 2011]. Поскольку малоглубинные грунтовые воды и поверхностные воды являются основными источниками питьевой воды, заболевания, связанные с загрязнением сильно влияют на население. Измеренная концентрация превышает допустимые пределы определенные Всемирной Организацией Здравоохранения (ВОЗ) для питьевой воды.

Анализ нитратов, проведенный Федеральным институтом геонаук и природных ресурсов (Bundesanstalt für Geowissenschaften Und Rohstoffe) в 2004 году, показал, что концентрация в 42 % анализируемых образцов превышает предел ВОЗ равный 50 мг/л. Уровень концентрации нитратов в 32 % всех скважин ручного забора из Кабульского бассейна превышает предел ВОЗ 50 мг/л [2]. Анализ, проведенный DACAAR в 2011 году [2], показал, что в 47 % анализируемых образцов концентрация нитратов превышает предел ВОЗ в 50 мг/л. Это говорит о постепенном увеличении концентрации нитратов; тесты показали, что концентрация других вредных элементов, таких как сульфат, хлорид, бор, натрий и других, также постепенно возрастает [9]. Рекомендации ВОЗ по электропроводимости (ЕС) питьевой воды составляют 1500 микро ом, но из-за нехватки воды в Афганистане, для потребления воды человеком, допустимы значения ЕС до 3000 микро ом. Распределение ЕС в подземных водах бассейна Кабула колеблется от 306 до 13899 микро ом [10].

Испытания, проведенные DACAAR в 2010 году, показывают, что концентрация бора в городских районах бассейна Кабула выше, чем в большинстве сельских районов. В городской местности 76 % проб воды из пунктов забора указывали, что концентрация бора превышает предел ВОЗ равный 0,5 мг/л [4, 7]. Около 52 % всех колодцев ручного забора в городской части города Кабул превышали уровень предела ВОЗ для концентрации нитратов равный 0,5 мг/л [2].

4. Рекомендации для будущего водоснабжения

4.1. Каптаж и защита подземных вод

В 2004 году было проведено технико-экономическое обоснование для расширения системы водоснабжения Кабула, финансируемое KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau). Текущий забор составляет более 120 000 м³/сутки, и только 27,5 % населения Кабула снабжается водопроводной водой [8]. Численность населения в 2015 году составила 4 089 000 человек, с потреблением воды около 123,4 млн м³/год. Тогда предполагаемая

доступность подземных вод в Кабуле будет составлять примерно 44 млн м³/год и может обеспечить только около 2 млн жителей, при умеренном потреблении – 50 л/сутки на одного человека. В этом исследовании было рекомендовано снабжать оставшуюся часть населения путем разработки отдаленных поверхностных вод, которые должны направляться из верхнего потока реки Логар и/или реки Панджшир. Это исследование показало, что бассейн подземных вод не может предоставить достаточное количество питьевой воды для жителей Кабула, и поэтому, было рекомендовано разрабатывать и вести поиск источников отдаленных поверхностных вод. Однако, желательно, чтобы местные ресурсы подземных вод использовались в максимально возможной степени, вместо того, чтобы перенаправлять воду из других бассейнов при значительно более высоких затратах связанных с такими рисками как высокое испарение.

Согласно оценке KfW, предполагаемая доступность подземных вод Кабула составляет около 44 миллионов кубических метров в год. Оценочный местный потенциал подземных вод представлен в Таблице 2. В водоносном слое Верхнего Логара потенциал подземных вод оценивается примерно в 63 млн м³/год, но без подробной информации о состоянии верхнего водоносного горизонта Логара. Следует отметить, что потенциал подземных вод среднего водоносного горизонта Логара оценивается в 63 млн м³/год. Тем не менее, этот водоносный слой загрязнен мышьяком и неприемлем для питья, и его можно будет использовать только для разработки медного рудника Эйнак (Аупак). Подземные воды могут обеспечить лишь 5 миллионов жителей при умеренном потреблении – 24 литра в день на одного человека. Расположение доступных водных ресурсов показано ниже (рисунок 1).

Качество воды водоносного горизонта бассейна Кабула, питающего колодцы, возможно, может быть улучшено за счет бурения более глубоких скважин, для решения проблемы острого антропогенного загрязнения. Направление потока грунтовых вод и площадь города считаются благоприятными, с точки зрения их качества. Это означает последовательное направление потока и, особенно, от крупнейших извлекаемых ресурсов в район города, где они могут быть в дальнейшем использованы, а затем отведены от городской территории. Поэтому загрязнение в целом, ограничено районом города и районом к востоку от города. Глубина эксплуатируемых и разведочных скважинах составляет до 90 м.

Таблица 2. Доступность региональных и местных подземных вод [3]

Водоносный пласт	Доступность водных ресурсов	
	10 ⁶ млн м ³	м ³ /день
Логар	24.64	67,500
Аллаудин и верхний Кабул	12.48	34,200
Афшар	3.65	10,000

Нижний Кабул	3.65	10,000
ИТОГО:	44.42	121,700

4.2. Поверхностные воды как будущие источники (удаленные источники)

Потенциальные поверхностные водные ресурсы располагаются в верхней части речного бассейна Кабула, плотины Шатут на реке Майдан и плотины Гат на реке Логар. Водные ресурсы также расположены в бассейне реки Панджшир, веерном водоносном слое Панджшира, плотинах Гульбахар и Саланг, которые в 2011 году являлись предметом технико-экономического обоснования ЛСА. При этом разработка плотины Гат и местных подземных вод в Кабуле столкнулась с трудностями из-за их большого воздействия на социальную среду, поскольку увеличение использования воды в одной сфере приводит к сокращению использования в другой.

В феврале 2010 года было завершено исследование по технико-экономическому обоснованию плотины Шатут. Этот анализ предполагает водоснабжение Кабула в объеме 94,6 млн м³/год, в качестве ежедневного максимума, и 87,2 млн м³/год, в качестве среднесуточного значения. Таким образом, для жителей Кабула после завершения строительства плотины Шатут количество доступной воды возрастет до 87,2 млн м³/год. До завершения строительства плотины Шатут вместе с водоочистным сооружением (WTP) доступный объем питьевой воды будет ограничен подземными водами Кабула 44,4 млн м³/год, после запланированных улучшений KfW. Когда плотина Шатут начнет свою работу, средний поток реки Майдан будет резко сокращен. К 2025 году доступность подземных вод на местном уровне будет снижена до среднего уровня 33 млн м³/год [7]. Таким образом, доступность питьевой воды для города в 2025 году составит 120,4 млн м³/год, при консервативных расчетах Министерства по вопросам городского развития, это обеспечит около 6,6 млн человек, максимальную численность в районе верхнего бассейна Кабула, при потреблении 50 л/день на душу населения.

Таблица 3. Доступность ресурсов питьевой воды [2, 5]

Ресурс	Доступное водоснабжение млн м ³ /год
Доступный местный водный ресурс (местные подземные воды)	33.2
Плотина Шатут и водоочистные сооружения (WTP)	87.2
ИТОГО:	120.4

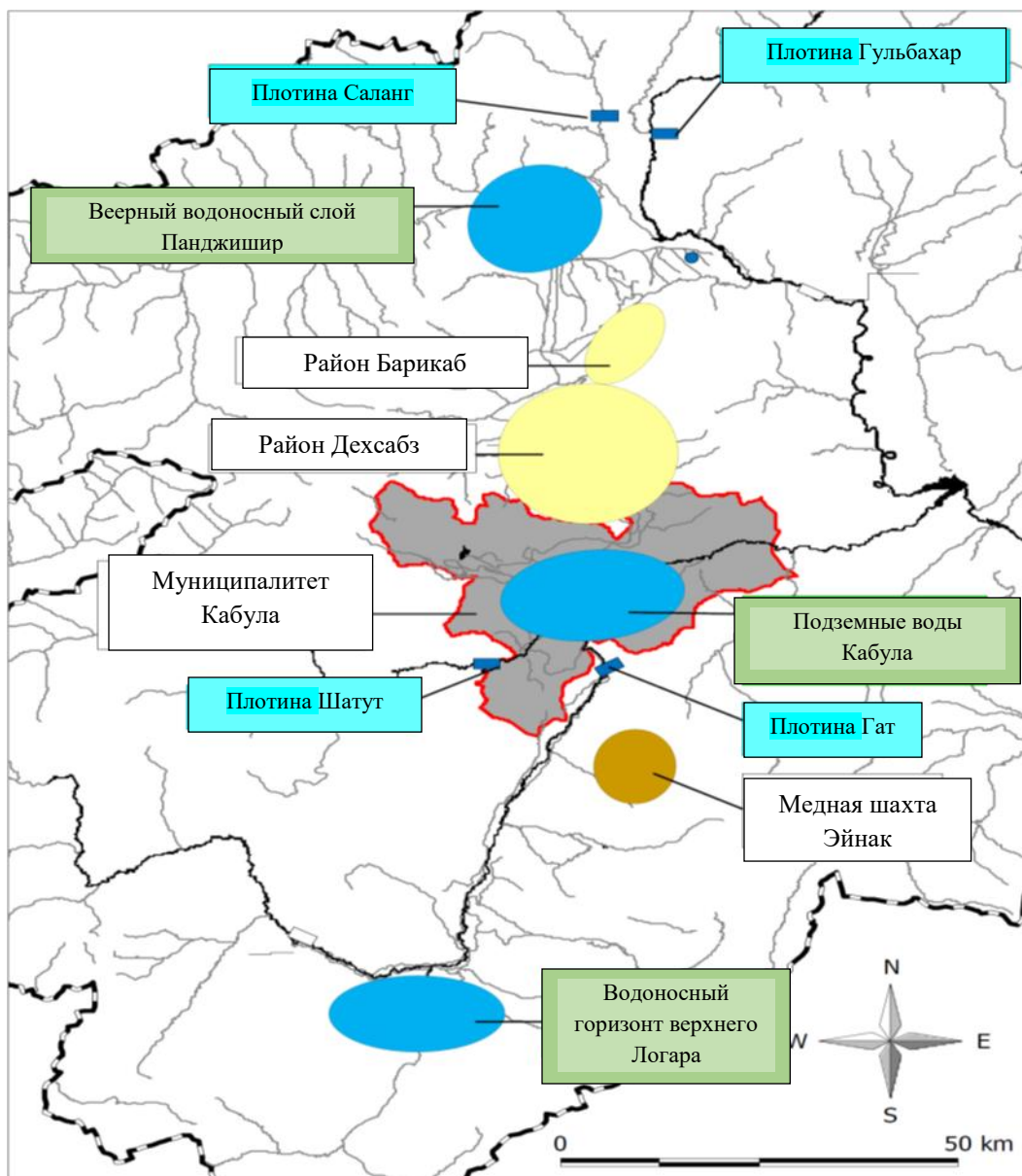


Рисунок 1. Месторасположение потенциальных водных ресурсов [8]

Министерство Энергетики и Водных ресурсов и другие соответствующие организации, ожидают, что плотина Гульбахар полностью решит проблемы хронической нехватки воды в Кабуле и его окрестностях. Техничко-экономическое обоснование было проведено ЈСА и завершено в декабре 2012 года. Плотина Гульбахар расположена на реке Панджшир к северу от города Кабул. Плотина Гульбахар спроектирована по типу бетонной арки. Предлагаемая высота плотины 140 м при объеме резервуара 240 млн м³. Накопленная вода может быть направлена на бытовое и промышленное использование в новом городе, на нынешние и будущие сельскохозяйственные цели, производя при этом дополнительную гидроэлектрoэнергию.

Поскольку мощность плотины, как ожидается, составит 240 м³/год, она может стать основным водным ресурсом региона, включая города Кабул и Дехсабз.

Технико-экономическое исследование плотины Саланг было проведено ЈСА и завершено в декабре 2012 года. Плотина Саланг спроектирована по скальному типу. Предлагаемая высота плотины 110 м при объеме резервуара 40 млн м³, что может обеспечить водоснабжение для бытового и промышленного пользования в новом городе, а также для сельского хозяйства.

Веерный водоносный пласт Панджшира расположен в восточной части города Чахрикар. Было предложено обеспечить питьевой водой новый город Дехсабз. ЈСА провел и профинансировал технико-экономическое обоснование. Рассчитанный потенциал водоносного горизонта Панджшира составил в 210 млн м³/год, что позволит производить частичный забор воды из веерного водоносного слоя Панджшира по трубопроводу в город Дехсабз. Вычитая ожидаемый ежегодный спрос жителей в объеме 52,3 млн м³ и 44,6 млн м³, нового города, Кабулу будет доступно около 100 млн м³ воды в год.

Несмотря на то, что разработка проекта подземных вод в водоносных горизонтах веерного водоносного слоя Панджшира позволит использовать их быстрее, чем плотина Гульбахар, предполагается, что эксплуатационные расходы на поставку воды в Кабул будут в 10 раз выше, чем в случае плотины Шатут.

Другая возможность снабжения города водой пока еще не рассмотрена во всех исследованиях. Речь идет об искусственном восполнении водоносных горизонтов Кабула избыточными поверхностными водами (реки и талые воды), что также может быть хорошей возможностью для увеличения природных запасов подземных вод в Кабуле. Искусственное восполнение - это процесс, при котором избыточная поверхностная вода непосредственно направляется в землю либо путем инфильтрации через поверхностные каналы/промоины, с использованием восполняемых колодцев, либо путем изменения естественных условий для увеличения инфильтрации для восполнения водоносного горизонта подземными плотинами. Это относится к перемещению воды через искусственные системы с поверхности земли в подземные водоносные слои, где она может храниться для будущего использования. Однако подробное исследование, касающееся искусственного восполнения в бассейне Кабула, пока не проводилось.

5. Заключение

Водоснабжение в Кабуле находится под угрозой из-за истощения грунтовых вод, вызванного неустойчивым и неконтролируемым забором подземных вод и загрязнением водных ресурсов различными источниками, такими как неочищенные сточные воды. Загрязнение подземных вод в водоносных горизонтах бассейна реки Кабула и анализ качества воды указывают на постепенное ухудшение воды в городских районах Кабула. Около 85% жителей в основном используют несертифицированные

источники питьевой воды с применением ручных насосов и малоглубинных скважин [9].

По оценкам, запасы подземных вод в Кабуле составляют около 44 млн м³/год, что может обеспечить питьевой водой только 2 миллиона жителей при умеренном потреблении на душу населения - 50 литров в день. Однако, в Кабуле проживает более 4 миллионов человек, поэтому было рекомендовано провести исследование в целях развития дистанционного водоснабжения. По этой причине правительство Афганистана при финансовой поддержке ИСА провело технико-экономическое обоснование плотины Шатут, плотины Гульбахар, веерного водоносного пласта Панджшира и плотины Саланг. В этих исследованиях оценивались возможности водоснабжения этими плотинами и веерным водоносным пластом Панджшира, однако, данные проекты еще не разрабатываются.

6. Дополнительная информация

Данная статья была подготовлена в рамках образовательной инициативы в Центральной Азии, финансируемой Организацией по Безопасности и Сотрудничеству в Европе (ОБСЕ).

7. Список литературы

- [1] Консультации Беллера, Технико-экономическое обоснование для расширения системы водоснабжения Кабула, Промежуточный отчет. (Финансируемый KfW) – 2004.
- [2] Датский комитет помощи афганским беженцам (DACAAR), Обновленная информация о «Национальной сети подземных вод для мониторинга скважин в Афганистане» с июля 2007 года по декабрь 2010 года. DACAAR, Кабул, 23 с. – 2011.
- [3] Экрар Н., Проблемы количества и качества подземных вод в Кабуле. Университет Кабула – 2015.
- [4] Саффи М. Х., Природные ресурсы подземных вод и проблема качества в Кабульском бассейне, Афганистан. Отчет о научных исследованиях в Афганистане, DACAAR, июнь 2011 – 2011.
- [5] Хьюбен Г., Тьнемьер Т., Гидрогеология бассейна Кабула. Часть II. Геохимия и микробиология подземных вод. Министерство иностранных дел Федеративной Республики Германии; BGR – 2005.
- [6] Исследовательская группа ИСА: отчет по сектору, подземные воды. Разработка генерального плана развития метрополии Кабула в Исламской Республике Афганистан – 2009.
- [7] Исследовательская группа ИСА: проект генерального плана города Кабул. Продукт проекта технического сотрудничества для продвижения проекта развития метрополии в Кабуле для пересмотра генерального плана города Кабул – 2011.

-
- [8] Мак Т. Ж., Акбари М. А., Ашоор М. Х., Чорнак М. П., Коплен Т. Б., Емерсон Д. Г., Хуббард Б. Е., Литке Д. В., Мичел Р. Л., Плуммер Л. Н., Резаи М. Т., Сенай Г. Б., Вердин Ж. П., Верстраетен И. М., Концептуальная модель водных ресурсов бассейна Кабула, Афганистан. Отчет о научных исследованиях геологической службы США 2009 - 5262, 240 с – 2010.
- [9] Мыслил В., Наим Экар, М., Хафиси, М, Гидрогеология бассейна Кабула - Отчет для Детского Фонда Организации Объединенных Наций и Министерства водных ресурсов и энергетики Демократической Республики Афганистан [не опубликован] – 1982.
- [10] Саффи, М. Х., Природные ресурсы и проблемы подземных вод в бассейне Кабула, Афганистан - DACSAAR Кабул – 2011.
- [11] Тахир М. Р., Корнак, М.П., Мак Т. Ж., Мониторинг уровня грунтовых вод и устойчивое развитие в бассейне Кабула, Афганистан, 2004 - 2013 гг. 4-я Международная конференция по геонаукам Гиндукуш, Кабульский Политехнический университет, Кабул, Афганистан – 2013.