



## Эвапотранспирация прибрежных экосистем и орошаемое сельскохозяйственное производство хлопка в среднем течении реки Тарим (Синьцзянь, Китай)

Нилс Тевс<sup>1,2\*</sup>, Ахмаджон Роузи<sup>2</sup>, Кумарбек Алиев<sup>1</sup>, Нурбай Абдушалик<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Всемирный центр агролесоводства, Центрально-азиатский офис, Бишкек, Кыргызстан

<sup>2</sup> Институт ботаники и ландшафтной экологии, Грайфсвальдский университет

<sup>3</sup> Институт охраны окружающей среды и природных ресурсов, Синьцзяньский Университет

\*для корреспонденции: [N.Thevs@cgiar.org](mailto:N.Thevs@cgiar.org)

МРНТИ 68.31.02

doi: 10.29258/CAJWR/2017-RI.v3-4/1-17.rus

Данная версия является переводом статьи «Evapotranspiration of riparian ecosystems and irrigated cotton agriculture at the middle reaches of the Tarim River, Xinjiang, China», опубликованной в журнале 13 декабря 2017г.

### Аннотация

*В степях, полупустынях и пустынях Центральной Азии наиболее продуктивными экосистемами являются такие прибрежные экосистемы, как леса и кустарники. Реки также служат источником орошения, более того, основные населенные пункты и оазисы региона расположены вдоль рек. Природные экосистемы и орошаемое земледелие конкурируют за пространство и воду вдоль этих рек. Расширение орошаемого земледелия привело к нехватке воды в реках Центральной Азии и деградации природных экосистем. Таримская впадина в Синьцзяне (КНР), занимающая площадь 1,02 млн км<sup>2</sup>, являющаяся местом проживания около 9,5 млн человек, превратилась в самый важный хлопковый регион в мире с общим годовым производством хлопка-волокна 2,1 млн тонн, или 8,85% от общего мирового производства в 2010 году. На территории Таримского бассейна также находится 54% (352200 га) мирового запаса тугайных лесов евфратского тополя (*Populus euphratica* Oliv). Целью данной работы является определение фактической эвапотранспирации (ЕТ<sub>а</sub>) хлопка как основной культуры естественной растительности вдоль реки Тарим. Среди растительности акцент делается на леса евфратского тополя и тамарикса, основного доминирующего кустарника природной экосистемы региона. Фактическая эвапотранспирация определялась соотношением коэффициента Боуэна (Bowen ratio approach). Эталонная эвапотранспирация (ЕТ<sub>о</sub>) и коэффициенты сельхозкультур (К<sub>с</sub>) были вычислены после применения метода Пенмана-Монтейта (Penman-Monteith). Суммарный показатель ЕТ<sub>о</sub> трех исследованных участков составил 1122 – 1280 мм в период вегетации. Суммы эвапотранспираций хлопчатника, евфратского тополя и тамарикса, составили 489 мм, 879 мм и 410 мм соответственно. К<sub>с</sub> хлопчатника варьировался между 0,30 и 0,62, что значительно ниже, чем в рекомендациях ФАО (Food and Agriculture Organization, FAO). Это можно объяснить с помощью применения улучшенных сортов, капельного орошения, а также пластиковой мульчи.*

**Ключевые слова:** потребление воды, *Populus euphratica*, *Tamarix*, Центральная Азия, коэффициент Боуэна

## 1. Введение

Центральная Азия, которая простирается от Каспийского моря до Северо-Западного Китая и Монголии, в основном покрыта степями, пустынями и полупустынями (Урало-Алтайские пустыни), а также крупными горными районами (основные горные районы: Тянь-Шань, Памир и Алтай). Эти горы являются источниками таких рек в регионе, как как Амударья, Сырдарья, Или, Чу и Тарим. В полупустынных и пустынных районах эти реки поддерживают прибрежные экосистемы, которые являются наиболее продуктивными экосистемами в полупустынях и пустынях Средней Азии [1, 2, 3]. Эти реки являются главным источником воды для орошения, а также основные населенные пункты и оазисы региона расположены вдоль них. Природные экосистемы и орошаемое земледелие конкурируют за пространство и воду вдоль этих рек. В бассейне Аральского моря, вдоль рек Амударья и Сырдарья, посадка хлопка была сильно развита в 1960-е годы. Вследствие чего Аральское море и природные экосистемы в тех районах почти исчезли [4]. В Таримском бассейне площадь оазисов увеличивалась начиная с 1950-х годов, что привело к полному высыханию озер Лобнор и Тайтема, рек Кенги и Тарим соответственно [5]. После 2000 года озеро Тайтема было частично восстановлено, так как наводнения были почти каждый год в низовье реки Тарим [6]. Тем не менее, в обоих бассейнах низовья рек, частично превращались в потоки рек на короткое время или полностью высыхали. В этих условиях, прибрежная естественная растительность и орошаемое земледелие, особенно вдоль низовья реки, страдали и страдают от нехватки воды, что приводит к деградации природных экосистем [4, 7, 8, 9, 10].

Бассейн реки Тарим в Синьцзяне (Китай) занимает площадь 1,02 млн км<sup>2</sup>, и является местом проживания около 9,5 млн человек. Будучи одним из самых засушливых регионов в мире, в 2010 году он превратился в самый важный регион мирового хлопководства с общим годовым объемом производства хлопка-волокна – 2,1 млн тонн, что составляет 8,85 % мирового производства [11]. В 2011 году доля производства хлопка-волокна в Синьцзяне возросла до 11% от общего мирового производства [12]. Половина хлопка-волокна была собрана в Таримском бассейне вдоль рек Аксу и Тарим [11, 13]. Большая часть хлопковых плантаций в Синьцзяне была переведена от орошения затоплением и бороздового полива к капельному орошению в сочетании с пластиковой мульчей, которая покрывает почву вокруг капельных линий, как это было описано Джоу (Zhou) в соавторстве в 2012 для Северного Синьцзяна [14]. Такой метод орошения сократил потребление воды хлопком по сравнению с использованными ранее орошением затоплением и бороздового полива. Однако, с другой стороны, площадь под хлопчатник была расширена с 0,4 млн га в 1990 году до 1,4 млн га в 2010 году [15], таким образом, лежащие вниз по течению реки Тарим районы, до сих пор страдают от нехватки воды [16].

На территории бассейна реки Тарим также находится 54 % (352 200 га) мировых тугайных лесов евфратского тополя (*Populus euphratica*) [17].

Эти леса образуют мозаику из пойменных лесов, водно-болотных угодий, кустарниковой растительности и небольших зарослей травянистой растительности [18], а также служат средой обитания для диких животных [17]. Леса евфратского тополя являются единственными лесами в бассейне реки Тарим. Наибольшие смежные участки в тополевых лесах с соответствующими водно-болотными угодьями и кустарниковой растительностью расположены вдоль реки Тарим в двух заповедниках: Тарим Shanguoyou и Тарим Huyanglin, которые протянулись вдоль реки Тарим в уезде Шахъяр и вниз по течению Енги Базар (Рисунок 1).

Для того чтобы иметь возможность сбалансировать распределение воды между орошением хлопка, природными экосистемами и удовлетворением потребностей в воде, необходимо обладать базовой информацией о потреблении воды хлопком и природными экосистемами. Поэтому в данной работе авторы намерены определить фактическую эвапотранспирацию ( $ET_a$ ) хлопка при преобладающем капельном орошении, орошении с применением техники пластиковой мульчи, так как хлопок является основной культурой в Таримском бассейне, и  $ET_a$  естественной растительности вдоль реки Тарим. Среди естественной растительности акцент делается на евфратский тополь и тамарикс, доминирующий кустарник, как основные природные экосистемы.

Фактическую эвапотранспирацию сельскохозяйственной культуры или растительности, участке ( $ET_a$ ), можно определить в полевых условиях следующим образом: 1) с помощью расчета эталонного значения  $ET$ , используя данные станций наблюдения за климатом и коэффициенты сельскохозяйственной культуры [19]; 2) с помощью метода отношения Боуэна [20] так, как его использовали Ноу и соавторы в 2010 для определения эвапотранспирации евфратского тополя (*Populus euphratica*) на реке Хэйхэ во Внутренней Монголии (Китай) [21]; 3) при помощи лизиметров [22] или 4) используя приборы измерения ковариантности в водоворотах [23, 24]. Следует учесть, что лизиметры и приборы измерения ковариантности в водоворотах являются очень дорогостоящими по сравнению со станциями наблюдения за климатом, которые требуются для первых двух подходов. Поэтому, в данном исследовании значение  $ET_a$  определяется методом отношения Боуэна [20]. Кроме того, значение  $ET_a$  связано с эталонным значением  $ET$  ( $ET_o$ ), используем в методе Пенмана-Монтейта [19] через расчет коэффициентов культуры. Полученные результаты позволят лицам принимающим решения и вовлеченным в планирование рассчитать водопотребление хлопка, евфратского тополя (*Populus euphratica*) и зарослей тамарикса, в бассейне реки Тарим и за его пределами. Такие коэффициенты были разработаны для сельскохозяйственных культур, но не для видов природной растительности, которые являются целью данного исследования. Значения коэффициентов для большинства культур датируются 1970-ми или 1980-ми годами, и таким образом, могут не учитывать последние достижения в области селекции [25].

Измерения водопотребления хлопка в условиях капельного орошения с пластиковой мульчей недостаточны, так как эту технологию начали использовать не так давно, лишь в течение последних 5-10 лет. Эвапотранспирация лесов евфратского тополя (*Populus euphratica*) и зарослей тамарикса была исследована в уезде Кира (Qira, Cele), на южной окраине пустыни Такламакан в Синьцзяне (Китай) [1] и на реке Хэйхэ во Внутренней Монголии (Китай) [21]. Оба участка представляют собой леса евфратского тополя (*Populus euphratica*) и с низкорослой растительностью составляющей 20-30 %, в которой доминирует тамарикс, тогда как целью исследования данной статьи являются густо растущие леса и кустарниковые заросли вдоль реки Тарим, особенно те, что находятся в заповедных зонах [18].

## 2. Методы

### 2.1. Район исследований

Данное исследование было проведено на трех участках: Енги Базар (41.21° северной широты, 84.22° восточной долготы, 930 м над уровнем моря), Иминчек (41.25° с. ш., 84.44° в. д., 932 м над уровнем моря) и Чон-Арал (41.33° с. ш., 85.57° в. д., 860 м над уровнем моря). Все участки находятся на заливной пойме реки Тарим и ее рукавах. Енги Базар и Чон-Арал расположены рядом с природным заповедником Хуанлун на реке Тарим, а Иминчек находится в центральной части природного заповедника. (Рисунок 1).

Река Тарим, длиной 1321 км, образуется от слияния трех рек – Аксу, Яркант и Хотан – у г. Арал. В настоящее время только воды реки Аксу попадают в реку Тарим, тогда как Яркант и Хотан только в сезон паводка. В среднем, 75 % годового расхода реки Тарим происходит за счет вод реки Аксу [6]. Верхний бьеф реки Аксу находится севернее города Аксу в Центральном Тянь-Шане (Рисунок 1). Там таяние снегов и ледников, а также летние дождевые стоки пополняют верховье реки Аксу [5, 26, 27]. Каждый год около 75 % годового стока приходится на июль, август и сентябрь, что приводит к ежегодным летним наводнениям [5, 6]. Таким образом, наводнение 2010 г. было одним из самых больших за последние пятьдесят лет, например, поверхность почвы на участке Иминчек оставалась влажной до мая 2011 г.

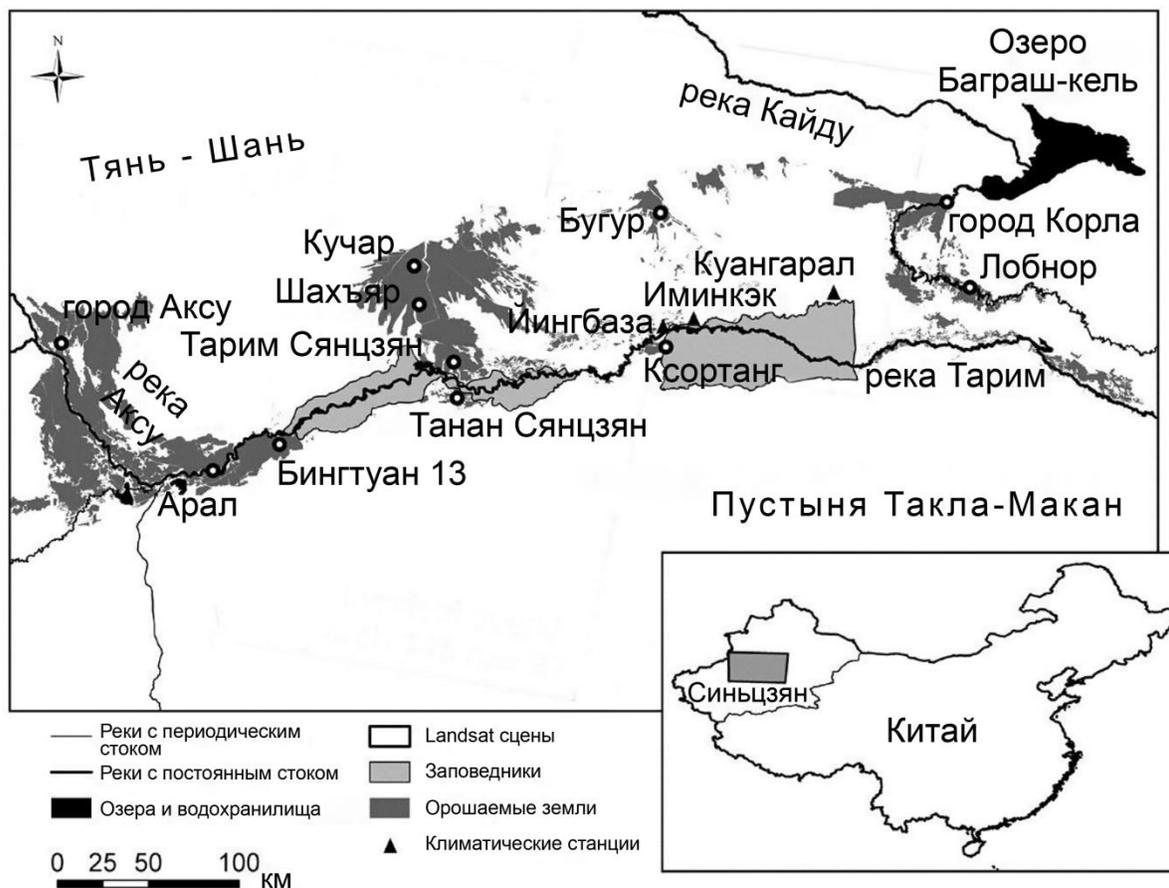


Рисунок 1. Карта зоны исследования

Климат на пойменных землях рек Аксу и Тарим чрезвычайно сухой с годовым количеством осадков в диапазоне от 30 мм до 70 мм [28]. Средняя температура в январе составляет  $-10^{\circ}\text{C}$ , тогда как средняя температура в июле –  $+26^{\circ}\text{C}$  (<http://www.tutiempo.net/clima/China/CN.html>). Естественная растительность вдоль реки Тарим состоит из прибрежных лесов евфратского тополя (*Populus euphratica*), так называемых Тугайных лесов [29, 30], водно-болотных угодий, кустарниковой растительности и участков с многолетней травяной растительностью [18]. Единственными лесообразующим видом являются евфратские тополя (*Populus euphratica*) [31]. Запасы биомассы варьируются в диапазоне от 26 т/га до 44 т/га для густорастущих лесов с общей площадью покрытия 50 % и запасами биомассы от 18 т/га до 24 т/га для лесов с покрытием 10 % для пустынных окраин [3]. Среди кустарниковой растительности доминируют кусты тамарикса ветвистого (*Tamarix ramosissima*) и галофиты на участках с засоленной почвой. Тамарикс ветвистый (*Tamarix ramosissima*) обычно произрастает также в Тугайских лесах в качестве подлеска [1, 18, 31, 32]. Водно-болотные угодья – это плавни для которых обычен тростник обыкновенный (*Phragmites australis*). Тростник обыкновенный (*Phragmites australis*) распространен на

длинных и периодически подтопляемых, а также на неподтопляемых участках [2]. Участки, покрытые многолетней травяной растительностью, включающей кендыр (*Apocynum pictum*), солодку вздутую (*Glycyrrhiza inflata*), карелинией каспийский (*Karelinia caspica*) и верблюжью колючку (*Alhagi sparsifolia*), расположены в виде островков на лесистых и кустарниковых участках. Все эти виды растений являются фреатофитами [32], т.е. растениями, покрывающими свою потребность в воде за счет грунтовых вод. Уровень грунтовых вод на двух участках Иминчек и Чон-Арал составляет 3 м и 6 м ниже поверхности [33], что входит в диапазон, подходящий для тополя (*Populus euphratica*) и тамарикса [18]. Таким образом, в период проведения исследования естественная растительность не испытывала недостаток в воде. Разные виды растений дают листву в период с апреля по май, так что апрель может считаться первоначальной стадией, а май – стадией роста. Июнь и последующие месяцы представляют собой средний этап. Листья опадают во второй половине октября.

На исследуемых участках, поля хлопка располагаются вдоль реки Тарим, а также внутри естественных заповедных зон. Существуют три типа фермерских хозяйств: фермерские хозяйства воинских частей (часть фермерского хозяйства воинской части 13 находится в исследуемой зоне), частные крупные фермерские хозяйства с общей площадью пахотных земель от 100 до 300 га (располагаются в Енги Базаре и Чон-Арале), небольшие семейные фермы с общей площадью пахотных земель 2-7 га (расположены в Пухуи, Тарим Сян и Танан Сян) [15]. Фермы воинских частей и частные крупные фермерские хозяйства повсеместно используют капельное орошение в сочетании с пластмассовой мульчей [14], тогда как небольшие семейные фермы применяют капельное орошение и орошение затоплением. Кроме того, первые два типа фермерских хозяйств часто перекачивают грунтовые воды с помощью насоса, чтобы преодолеть периоды нехватки речной воды [16, 34].

В зависимости от наличия воды, поля затапливаются осенью или весной, чтобы выщелочить соль и создать влагу в почве для ее подготовки. Подготовка почвы происходит в марте, затем в апреле следует посадка культур. Первоначальный этап длится до конца мая. Полив начинают в июне в соответствии с началом этапа роста. Средний этап длится в течение июля и августа. И наконец, сбор урожая начинается в сентябре и продолжается в октябре [15]. Хлопок растет на полях каждый год без какой-либо ротации [16]. В 2010 году выход хлопка-волокна в уездах Шахъяр и Луньтай составил 1562 кг/га и 1935 кг/га, соответственно [11]. Участок для выращивания хлопка (Енги Базар) ранее был полем принадлежащим крупному частному фермерскому хозяйству, имеющему доступ к скважине грунтовых вод, поэтому какой-либо существенный дефицит воды не ожидался.

## 2.2. Определение значений $ET_o$ и $Et_a$

Для расчета значений  $ET_a$  в соответствии с методом отношения Боуэна и эталонного  $ET$  ( $ET_o$ ), а также принципами ФАО, были задействованы три станции наблюдения за климатом работают в Иминчеке, Чон-Арале и Енги Базаре [19]. Данные с участков

Иминчек и Чон-Арал были получены в 2011-2012 годах, тогда как данные с Енги Базара были зарегистрированы лишь в 2012 г. Участки Иминчек и Чон-Арал были созданы рядом с лесничеством в силу логистических причин, а участок Енги Базар был создан на хлопковом поле размером 100 м x 50 м с капельным орошением, в 5 км к северу от села Енги Базар. Станция наблюдения за климатом в Иминчеке была расположена на участке рядом с лесом евфратского тополя (*Populus euphratica*), где отсутствовали другие виды растительности (тугайный лес с общим покрытием 50 % и более). Станцию наблюдения за климатом в Чон-Арале установили в насаждениях тамарикса (тугайный лес с общим покрытием менее 50 % и  $\geq 25$  %).

Станции наблюдения за климатом были снабжены датчиками для измерения скорости ветра с входящей и выходящей волной радиации (пиранометрами SMP3 компании «Kipp & Zonen»), вентилируемыми датчиками измерения температуры/влажности воздуха на двух разных высотах, чтобы авторы смогли рассчитать значение  $ET_a$  по методу отношения Боуэна [20]. Один датчик измерения температуры/влажности воздуха был установлен на высоте 2 м от поверхности почвы, другие датчики – на уровне 10 м над землей. Электроснабжение обеспечивали два 12-вольтных автомобильных аккумулятора, которые заряжались в соседнем лесничестве. Данные регистрировались через каждые 0,1 сек и сохранялись с помощью устройства регистрации данных как средние значения за 15 минут.

Суточное значение  $ET_o$  рассчитывалось по уравнению Пенмана-Монтейта и соответствующего набора формул по стандартам ФАО [19]:

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

где  $ET_o$  – значение эталонного параметра ET [мм/день],

$R_n$  – чистая радиация [МДж/м<sup>2</sup> день],

$G$  – тепловой поток почвы [МДж/м<sup>2</sup> день],

$T$  – средняя суточная температура воздуха на высоте 2 м [°C],

$u_2$  – скорость ветра на высоте 2 м [м/сек],

$e_s$  – упругость насыщающего пара [кПа],

$e_a$  – фактическая упругость пара [кПа],

$e_s - e_a$  – дефицит упругости насыщающего пара [кПа],

$\Delta$  – наклонная кривая давления пара [кПа/°C],

$\gamma$  – психрометрическая постоянная [кПа/°C].

$T$  и  $u_2$  были измерены станциями наблюдения за климатом. Параметр  $G$  был установлен на «0» для суточного значения  $ET_o$ . Данные об относительной влажности воздуха, полученные со станций наблюдения за климатом, были использованы для расчета  $e_s$  и  $e_a$  по методу Аллена и его коллег в 1998 г. По этому же методу были рассчитаны и значения  $\Delta$  и  $\gamma$  [19]. Входящие короткие волны солнечного излучения  $R_s$  и отраженные

короткие волны излучения  $R_{out}$  также измерялись на станциях. Внеатмосферное излучение, альbedo, “чистая” входящая коротковолновая радиация и “чистая” уходящая длинноволновая радиация, которые необходимы для расчета значения  $R_n$  в уравнении 1, которое также были рассчитаны по методу Аллена и его коллег в 1998 г. [19]. Пробелы в данных станций в Иминчеке и Чон-Арале в 2011 г. и Енги Базаре в 2012 г. были заполнены данными на основе регрессионного анализа климатических данных, взятых с сайта: <http://www.tutiempo.net/clima/China/CN.html>. Линейные регрессии были установлены между суточной температурой, влажностью воздуха и данными о скорости ветра, полученных со станций используемых авторами, и соответствующими данными станций в Корла и Куге (Таблица 1). Регрессии между данными станции в Корла и Чон-Арале подошли лучше всего, тогда как данные со станций в Иминчеке и Енги Базаре более всего подходят к Куге. Пробелы в данных с Иминчека и Чон-Арала в 2012 г. не были заполнены, так как значения  $R^2$  были ниже 0,5 для всех регрессий. Две станции находятся на высоте 933 м и 1100 м.

**Таблица 1.** Регрессии для суточной температуры, влажности воздуха и скорости ветра между станциями в Корла и Чон-Арале, Куге и Иминчеке, Куге и Енги Базаре.\*

| Уравнения регрессии                                    | $R^2$  |
|--|--------|
| <b>2011</b>  |        |
| Регрессия между данными Куга и Иминчек                 |        |
| $T_{Иминчек} = 0.9231 * T_{Куга} + 3.0884$             | 0.8511 |
| $T_{max\ Иминчек} = 0.9551 * T_{max\ Куга} + 4.8977$   | 0.8221 |
| $T_{min\ Иминчек} = 1.0745 * T_{min\ Куга} - 0.2793$   | 0.7505 |
| $RH_{Иминчек} = 0.5677 * RH_{Куга} + 16.021$           | 0.5563 |
| $u_{Иминчек} = 0.0588 * u_{Куга} + 0.5776$             | 0.1123 |
| Регрессия между данными Корла и Чон-Арал               |        |
| $T_{Чон-Арал} = 1.0855 * T_{Корла} - 3.3333$           | 0.9881 |
| $T_{max\ Чон-Арал} = 1.0142 * T_{max\ Корла} + 1.1362$ | 0.9961 |
| $T_{min\ Чон-Арал} = 1.1956 * T_{min\ Корла} - 6.4518$ | 0.9729 |
| $RH_{Чон-Арал} = 1.0312 * RH_{Корла} + 9.2126$         | 0.7547 |
| $u_{Чон-Арал} = 0.2024 * u_{Корла} + 1.4148$           | 0.4472 |
| <b>2012</b>  |        |
| Регрессия между данными Куга и Енги Базар              |        |
| $T_{Енги\ Базар} = 0.9519 * T_{Куга} + 2.3899$         | 0.8985 |

|   |        |
|---|--------|
| $T_{\max} \text{ Енги Базар} = 0.9381 * T_{\max} \text{ Куга} + 3.5202$ | 0.8975 |
| $T_{\min} \text{ Енги Базар} = 1.0553 * T_{\min} \text{ Куга} + 0.7414$ | 0.8123 |
| $RH_{\text{Енги Базар}} = 0.4469 * RH_{\text{Куга}} + 23.436$           | 0.1955 |
| $U_{\text{Енги Базар}} = 0.1975 * u_{\text{Куга}} + 0.0644$             | 0.2278 |

\* Источник для данных станции в Корле и Куге: <http://www.tutiempo.net/clima/China/CN.html>.  $T$  – суточная средняя температура [°C],  $T_{\max}$  – суточная максимальная температура [°C],  $T_{\min}$  – суточная минимальная температура [°C],  $RH$  относится к суточной средней относительной влажности воздуха [%] и  $u$  относится к скорости ветра, выраженное в км/час (источник: <http://www.tutiempo.net/clima/China/CN.html> и переведенное в м/с).

Суточное значение  $ET_a$  рассчитано по методу отношения Боуэна. Отношение Боуэна представлено в следующем виде:

$$\beta = \gamma (T_1 - T_2)/(e_1 - e_2), \quad (2)$$

где  $\beta$  – отношение Боуэна;  
 $\gamma$  – психрометрическая постоянная [кПа/°C];  
 $T_1$  и  $T_2$  – температура на высоте 1 и 2 [°C];  
 $e_1$  и  $e_2$  – давление пара на высоте 1 и 2 [кПа].

$$LE = (R_n + G)/(\beta + 1), \quad (3)$$

где  $LE$  – поток скрытой теплоты [Вт/м<sup>2</sup>];  
 $R_n$  – чистое излучение [Вт/м<sup>2</sup>];  
 $G$  – тепловой поток почвы [Вт/м<sup>2</sup>];  
 $\beta$  – отношение Боуэна.

Значение  $R_n$  были рассчитаны с 15-минутным временным промежутком, соответствующим данным, зарегистрированным на трех станциях, с использованием соответствующих уравнений, рекомендованных Алленом и др., 1998 г. [19]. Авторы не устанавливали датчики измерения потока тепла в почве, так как не могли гарантировать свободные измерения потока тепла в почве из-за деятельности людей, находящихся рядом. Таким образом, значение  $G = 0.1 R_n$  было принято в соответствии с рекомендациями ФАО [19]. 15-минутные значения  $LE$  были конвертированы в  $ET_a$  для 15-минутных временных промежутков и суммированы до суточных значений  $ET_a$  со станций. Значение  $ET_o$ , согласно Руководящим принципам ФАО, было конвертировано в значение эвапотранспирации культуры путем умножения значения  $ET_o$  либо на коэффициент одной культуры ( $K_c$ ), либо на коэффициент двух культур ( $K_{cb} + K_c$ ), перечисленных Алленом и др., 1998 г. Таким образом,  $K_c$  состоит из значения транспирации от культур и испарения с поверхности почвы, тогда как коэффициент

двух культур разделяет коэффициент транспирации ( $K_{cb}$ ) и испарения с поверхности почвы ( $K_e$ ). Значения  $K_{cb}$  были получены в результате следующих расчетов:

$$K_{cb} = ET_a / ET_o \quad (4)$$

В данном исследовании были использованы коэффициенты  $K_{cb}$  в связи с тем, что испарение с поверхности почвы можно игнорировать в течение большого периода времени в вегетационный период. В случае с естественной растительностью грунтовые воды проникают слишком глубоко, чтобы связаться с поверхностью почвы, и в случае с хлопком почву покрывают пластиковой мульчей.

### 3. Результаты

Соответствующие данные по климату для расчета значения  $ET_o$  представлены в таблице 2 как среднемесячные значения.

Температура воздуха и радиация в 2012 г. были ниже по сравнению с 2011 г., например, средняя температура воздуха в июле составила 25,2°C в 2012 г. (в Енги Базаре), но 27,0°C и 27,4°C в 2011 г. (в Иминчеке и Чон-Арале соответственно). Скорость ветра значительно отличалась в Иминчеке и Чон-Арале – 0,6 м/сек–0,74 м/сек и 1,79 м/сек–2,02 м/сек соответственно (Таблица 2). Соответственно, значение  $ET_o$  в июле было на 1,1 мм/день выше в Чон-Арале, чем в Иминчеке (Таблица 2). Чон-Арал показал также самую высокую сумму значений  $ET_o$  – 1280 мм на всех трех участках (Таблица 3). В Енги Базаре скорость ветра была выше на 1,3 м/сек в течение большинства месяцев в вегетационный период, т.е. также значительно выше, чем в Иминчеке. Несмотря на более низкую температуру воздуха и радиацию в Енги Базаре в 2012 г., значение  $ET_o$  в июле составило 6,3 мм/день, т.е. только на 0,5 мм/день меньше, чем в Иминчеке в 2011 г. Значение  $ET_a$  было самым высоким в зоне лесов, т.е. в Иминчеке (в июле оно составило 5,3 мм/день), за которым следовало хлопковое поле в Енги Базаре ( $ET_a$  в июле 3,6 мм/день) и кустарниковая растительность в Чон-Арале, где значение  $ET_a$  в июле составило 2,3 мм/день (Таблица 2). Хотя значение  $ET_a$  хлопкового поля, которое в апреле и мае составило 1,5 мм/день и 1,8 мм/день соответственно, было ниже, чем значение  $ET_a$  за те же два месяца в зоне зарослей кустарников в Чон-Арале (1,7 мм/день и 1,9 мм/день соответственно).

**Таблица 2.** Данные за месяц: температура воздуха, относительная влажность воздуха (RH), скорость ветра, приходящая солнечная радиация ( $R_s$ ), остаточная радиация ( $R_n$ ),  $ET_o$ , и  $ET_a$ . Станции в Иминчеке (2011), Чон-Арале (2011) и Енги Базаре (2012).\*

| Месяц                  | Темп. воздуха [°C] | RH [%] | Скор. ветра [м/с] | $R_s$ [MJ/m <sup>2</sup> d] | $R_n$ [MJ/m <sup>2</sup> d] | $ET_o$ [мм] | $ET_a$ [мм] |
|------------------------|--------------------|--------|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|
| <b>Иминчек 2011</b>    |                    |        |                   |                             |                             |             |             |
| Апрель                 | 18.5               | 32.4   | 0.74              | 23.8                        | 15.0                        | 4.9         | 2.9         |
| Май                    | 21.2               | 39.4   | 0.68              | 27.5                        | 18.4                        | 5.9         | 4.0         |
| Июнь                   | 25.2               | 39.1   | 0.69              | 29.0                        | 19.9                        | 6.8         | 5.0         |
| Июль                   | 27.0               | 37.3   | 0.71              | 28.1                        | 19.2                        | 6.8         | 5.3         |
| Август                 | 25.9               | 41.4   | 0.70              | 25.1                        | 16.7                        | 5.9         | 4.2         |
| Сентябрь               | 21.5               | 43.3   | 0.64              | 20.3                        | 12.6                        | 4.2         | 3.7         |
| Октябрь                | 14.4               | 46.6   | 0.60              | 15.0                        | 8.0                         | 2.5         | 2.2         |
| <b>Чон-Арал 2011</b>   |                    |        |                   |                             |                             |             |             |
| Апрель                 | 16.7               | 33.2   | 2.02              | 24.0                        | 15.0                        | 5.5         | 1.7         |
| Май                    | 19.7               | 40.2   | 1.98              | 27.7                        | 18.4                        | 6.5         | 1.9         |
| Июнь                   | 25.2               | 44.0   | 1.94              | 29.2                        | 20.1                        | 7.6         | 2.3         |
| Июль                   | 27.4               | 39.6   | 1.96              | 28.4                        | 19.3                        | 7.9         | 2.3         |
| Август                 | 26.3               | 42.2   | 1.96              | 25.3                        | 16.8                        | 6.9         | 2.4         |
| Сентябрь               | 20.2               | 40.4   | 1.86              | 20.5                        | 12.4                        | 5.1         | 1.9         |
| Октябрь                | 11.5               | 52.1   | 1.79              | 15.1                        | 8.0                         | 2.8         | 1.1         |
| <b>Енги Базар 2012</b> |                    |        |                   |                             |                             |             |             |
| Апрель                 | 18.0               | 33.4   | 1.51              | 20.1                        | 11.9                        | 5.1         | 1.5         |
| Май                    | 20.5               | 37.8   | 1.43              | 22.1                        | 13.7                        | 5.8         | 1.8         |
| Июнь                   |                    |        |                   | 21.8                        | 14.3                        |             |             |
| Июль                   | 25.2               | 46.5   | 1.43              | 23.4                        | 15.1                        | 6.3         | 3.6         |
| Август                 | 24.8               | 42.8   | 1.36              | 20.9                        | 13.2                        | 6.0         | 3.7         |
| Сентябрь               | 21.4               | 53.5   | 0.20              | 17.8                        | 9.8                         | 3.3         |             |
| Октябрь                | 10.1               | 39.7   | 1.09              | 14.2                        | 5.9                         | 2.5         | 0.8         |

\* Все климатические станции расположены на высоте 2 м.

Суммы за месяц  $ET_o$  и  $ET_a$  представлены в таблице 3. Согласно средним данным представленных в таблице 2, самая высокая сумма  $ET_a$  – 879 мм, для всего вегетационного периода, была в лесу Иминчек, затем следуют поля с хлопком с суммой  $ET_a$  489 мм, и кустарники в Чон-Арале – 410 мм соответственно;  $K_{cb}$  был самым высоким у леса на протяжении всего периода вегетации в диапазоне от 0,59 в апреле и до 0,88 в октябре 2011 года (таблица 3). В апреле и мае  $K_{cb}$  хлопка (0,30) были

минимальны для кустарниковой растительности. После этого  $K_{cb}$  хлопка резко увеличился до 0,62 в августе. У кустарниковой растительности на станции Чон-Арал месячные значения  $K_{cb}$  были достаточно равномерными в течение всего периода вегетации.

**Таблица 3.** Месячные данные  $ET_o$ ,  $ET_a$ , сумма [мм] и  $K_{cb}$ . Станции в Иминчеке, Чон-Арале и Енги Базаре

| Месяц        | Иминчек     |            |             | Чон-Арал    |            |             | Енги Базар  |            |             |
|--------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|
|              | $ET_o$      | $ET_a$     | $K_{cb}$    | $ET_o$      | $ET_a$     | $K_{cb}$    | $ET_o$      | $ET_a$     | $K_{cb}$    |
| <b>2011</b>  |             |            |             |             |            |             |             |            |             |
| Апрель       | 151         | 88         | 0.59        | 166         | 50         | 0.30        |             |            |             |
| Май          | 188         | 128        | 0.68        | 201         | 60         | 0.30        |             |            |             |
| Июнь         | 210         | 160        | 0.76        | 223         | 67         | 0.30        |             |            |             |
| Июль         | 222         | 177        | 0.80        | 240         | 70         | 0.29        |             |            |             |
| Август       | 206         | 145        | 0.70        | 211         | 70         | 0.33        |             |            |             |
| Сентябрь     | 128         | 112        | 0.87        | 151         | 58         | 0.38        |             |            |             |
| Октябрь      | 78          | 68         | 0.88        | 87          | 33         | 0.38        |             |            |             |
| <b>Сумма</b> | <b>1182</b> | <b>879</b> | <b>0.74</b> | <b>1280</b> | <b>410</b> | <b>0.32</b> |             |            |             |
| <b>2012</b>  |             |            |             |             |            |             |             |            |             |
| Апрель       |             |            |             |             |            |             | 153         | 46         | 0.30        |
| Май          |             |            |             |             |            |             | 188         | 57         | 0.30        |
| Июнь         |             |            |             |             |            |             | 196         | 81         | 0.41        |
| Июль         |             |            |             |             |            |             | 201         | 114        | 0.57        |
| Август       |             |            |             |             |            |             | 177         | 109        | 0.62        |
| Сентябрь     |             |            |             |             |            |             | 125         | 55         | 0.44        |
| Октябрь      |             |            |             |             |            |             | 82          | 27         | 0.32        |
| <b>Сумма</b> |             |            |             |             |            |             | <b>1122</b> | <b>489</b> | <b>0.44</b> |

#### 4. Обсуждение

$ET_a$  евфратского тополя (*Populus euphratica*) на станции в Иминчеке составило 879 мм, что меньше, чем  $ET_a$  на реке Амударья в Узбекистане (1030 мм); согласно отчету [35],

эту разницу можно объяснить высоким уровнем грунтовых вод от 0.9 м до 2 м [35], и предположительно высокой плотностью посадки деревьев [21]. В отчете указано, что для насаждений евфратского тополя (*Populus euphratica*) с растительным покровом около 25% во Внутренней Монголии (Ejina) значение  $ET_a$  – 447 мм, что ниже значения  $ET_a$  *Populus euphratica* в данном исследовании. Это связано с низким уровнем растительного покрова [21].  $K_{cb}$  евфратского тополя (*Populus euphratica*) с июня по сентябрь был таким же, как и  $K_{cb\ mid}$  у миндаля и других фруктовых деревьев без травяного покрова [19]. Коэффициент у тополя евфратского (*Populus euphratica*) с июня и до октября был выше, чем  $K_{cb\ ini}$  и  $K_{cb\ end}$  у миндаля и фруктовых деревьев без травяного покрова соответственно [19]. На начальной стадии влажность почвы была доступна еще с прошлого года, что объясняет высокий коэффициент урожайности культур в Иминчеке. Таким образом,  $K_{cb}$  можно отнести к середине и концу стадии. Это довольно высокие значения  $K_{cb}$  – выше, чем у евфратского тополя (*Populus euphratica*), который приспособлен к засушливому климату за счет использования грунтовых вод, а не за счет экономии воды.

$ET_a$  вегетации кустарников за весь вегетационный период (410 мм) выше, чем значения  $ET_a$  *Populus euphratica* и *тамарукса* – от 192 мм до 392 мм и от 92 мм до 180 мм соответственно, измеренные Томасом и соавторами в 2006 [1], в Синьцзяне, Китае. Это соответствует более высокому покрову растительности на климатической станции Чон-Арал по сравнению с участком Томаса и соавторов в 2006 [1].

$ET_a$  хлопка (климатическая станция Енги Базар) – 489 мм – было несколько ниже, чем  $ET_a$  хлопка, измеренное через устьичную проводимость индекса площади листа в Енги Базаре, которое составило 525 мм [36].  $ET_a$  хлопка в этом исследовании было также ниже, чем результаты [22], но как свидетельствуют данные из результатов [37],  $ET_a$  может быть от 432 до 615 мм на экспериментальном поле с капельным орошением и от 642 до 739 мм при бороздовом поливе в Узбекистане. Также значение  $ET_a$  хлопка со станции по наблюдению за климатом соответствует  $ET_a$ , измеренному и определенному моделью S-SEBI [38] в Бразилии.

$K_{cb}$  коэффициенты хлопка данного исследования, а именно низкое  $K_{cb}$  в начале вегетации и резкое увеличение во время развития посевов в летний период (Таблица 3), такие же как и значения  $K_{cb}$ , перечисленные в рекомендациях ФАО для расчета эвапотранспирации [19]. Однако значения  $K_{cb}$  полученные в данном исследовании во время начала вегетации выше, чем  $K_{cb\ ini}$  в рекомендациях ФАО. Это может быть объяснено влажностью почвы от наводнений во время осенне-весеннего сезона, что приводит к испарению с поверхности почвы, не покрытой пластиковой мульчей. В июле и августе (средняя стадия)  $K_{cb}$  ниже по сравнению с  $K_{cb\ mid}$  из рекомендаций ФАО [19]. В то время как Аллен и соавторы в своей работе в 1998 приводят значения  $K_{cb}$  от 1,10 до 1,15 для средней стадии,  $K_{cb}$  хлопка в данном исследовании составили только 0,57 за июль и 0,62 за август. Эти значения соответствуют  $K_{cb}$  со значениями  $K_c$ , измеренными через устьичную проводимость и индекс площади листа в Енги Базаре [36]. В этом и состоят различия между значениями  $K_{cb}$  в данном исследовании и

значениями  $K_{cb}$  Аллена и соавторов др. [19], которые можно объяснить с помощью улучшенных сортов хлопка и ротацией культур. Значения  $K_{cb}$ , перечисленные Алленом и др. [19], датируются с 1970-х и 1980-х годов. Между тем было разработано больше сортов, устойчивых к засухе [25].

Регрессии используются для заполнения пробелов в данных таблицы 1, которые имеют высокую  $R^2$  для температуры, но низкую  $R^2$  для скорости ветра. Это указывает на то, что ветер является локальной особенностью, что объясняется ветрами, обусловленными специфической локальной тепловой энергией. Оценка эвапотранспирации и потребления воды для больших масштабов и площадей на основе климатических данных не представляют возможным интерполировать скорость ветра с климатических станций.  $R^2$  регрессии между Куга и Чон-Аралом выше на протяжении по сравнению с соответствующим  $R^2$  между Куга, Иминчеком и Енги Базаром, соответственно. Но это может быть объяснено более коротким расстоянием между Корла и Чон-Аралом по сравнению с расстояниями между Иминчеком, Куга и Енги Базаром. Кроме того, Корла и Чон-Арал расположены на одной высоте и на одинаковых ландшафтах.

## 5. Выводы

В этом исследовании коэффициенты на полях ( $K_{cb}$ ) были рассчитаны для хлопка, евфратского тополя и тамарикса на участках реки Тарим. Были получены следующие значения коэффициента  $K_{cb}$  следующие:  $K_{cb\ mid}$  и  $K_{cb\ end}$  для хлопка 0,57 – 0,62 и 0,32.  $K_{cb\ mid}$  и  $K_{cb\ end}$  для евфратского тополя 0,7 – 0,8 и 0,88.  $K_{cb}$  на протяжении всего периода вегетации для тамарикса был 0,3 – 0,38.

Капельное орошение и пластиковая пленка (пластиковая мульча) значительно улучшили эффективность использования воды при выращивании хлопка в Синьцзяне (КНР). Однако только часть полимерной пленки собирается с полей, в результате чего все больше и больше остатков полимерной пленки накапливается в почве, что может в будущем уменьшить пространство для корневой системы. С другой стороны, природные экосистемы, такие как евфратский тополь, являются огромными потребителями воды. Экосистемные услуги, предоставляемые этими природными экосистемами, имеют решающее значение, хотя их издержки с точки зрения воды необходимо учитывать при планировании и распределении водных ресурсов.

## 6. Выражение признательности

Авторы выражают благодарность Федеральному министерству образования и научных исследований (BMBF) за предоставление средств по кластеру SuMaRiO. Кроме того, авторы благодарят Фонд Рудольфа и Элен Глейзер и Бауэр-Холлман Фонд (Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft) за финансовую поддержку исследовательской группы стажеров и финансирование данного исследования в рамках проекта «Стратегии по адаптации к изменению климата и устойчивого землепользования в Центральной Азии» (Туркменистан и Синьцзянь, Китай).

## 7. Литература

1. Thomas, F.M., Foetzki, A., Arndt, S.K., Bruelheide, H., Gries, D., Zeng, F.J., Zhang, X.M., Runge, M. (2006): Water use by perennial plants in the transition zone between river oasis and desert in NW China. *Basic and Applied Ecology* 7: 253-267.
2. Thevs, N., Zerbe, S., Gahlert, F., Mijit, M., Succow, M. (2007): Productivity of reed (*Phragmites australis* Trin. ex. Staud.) in continental-arid NW China in relation to soil, groundwater, and land-use. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 81: 62-68.
3. Thevs, N., Buras, A., Zerbe, S., Kühnel, E., Abdusalih, N., Ovezberdyeva, A. (2012): Structure and wood biomass of near-natural floodplain forests along the Central Asian rivers Tarim and Amu Darya. *Forestry* 81: 193-202.
4. Glantz, M.H. (1999): *Creeping Environmental Problems and Sustainable Development of the Aral Sea Basin*, Cambridge University Press, Cambridge.
5. Song, Y.D., Fan, Z.L., Lei, Z.D., Zhang, F.W. (2000): *Research on Water Resources and Ecology of Tarim River, China*. Xinjiang Peoples Press, Urumqi, China. (in Chinese).
6. Tang, D.S., Deng, M.J. (2010): *On the Management of Water Rights in the Tarim River Basin*. China Water Power Press, Beijing (in Chinese).
7. Hoppe, T. (1992): *Chinesische Agrarpolitik und Uygurische Agrarkultur im Widerstreit. Das sozio-kulturelle Umfeld von Bodenversalzungen und -alkalisierungen im nördlichen Tarim-Becken (Xinjiang)*. Institut für Asienkunde, Hamburg.
8. Spoor, M. (1993): *Transition to Market Economies in Former Soviet Central Asia: Dependency, Cotton, and Water*. URL <http://repub.eur.nl/res/pub/18862/wp160.pdf>.
9. Treshkin, S.Y. (2001): *The Tugai Forests of Floodplain of the Amudarya River: Ecology, Dynamics and their Conservation*. In: Breckle, S.W., Veste, M., and Wucherer, W. (eds.): *Sustainable Land Use in Deserts*, 95-102. Springer, Heidelberg.
10. Zhu, Z.P., Giordano, M., Cai, X.M., Molden, D., Hong, S.C., Zhang, H.Y., Lian, Y., Li, H., Zhang, X.C., Zhang, X.H., Xue, Y.P. (2003): *Yellow River Comprehensive Assessment: Basin Features and Issues*. IWMI and YRCC. [http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/Working\\_Papers/working/WOR57.pdf](http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/Working_Papers/working/WOR57.pdf) (accessed 2013-12-30).
11. Xinjiang Statistics Bureau (2011): *Xinjiang Statistical Yearbook of 2010*. China Statistics Press, Beijing.
12. USDA (2012): *China - Peoples Republic of Cotton and Products Annual*. GAIN Report Number: CH12031. <http://www.thefarmsite.com/reports/contents/chinacotmay12.pdf> (accessed 2013-12-30).
13. Feike, T., Mamitim, Y., Li, L., Abdusalih, N., Doluschitz, R. (2015): *Development of agricultural land and water use and its driving forces in the Aksu-Tarim Basin, P.R. China*. *Environmental Earth Science* 73(2): 517-531.

14. Zhou, S.Q., Wang, J., Liu, J.X., Yang, J.H., Xu, Y. and Li, J.H. (2012): Evapotranspiration of a drip-Irrigated, film-mulched cotton field in Northern Xinjiang, China. *Hydrological Processes*, 26: 1169-1178.
15. Peng, H.Y., Thevs, N., Beckmann, V., Abdusalih, N. (2016): Economic performance of cotton and fruit plantations in arid regions: observation from the Tarim River Basin, NW China. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*, 8(3): 1-15.
16. Thevs, N. (2011): Water scarcity and allocation in the Tarim Basin: decision structures and adaptations on the local level. *Journal of Current Chinese Affairs* 3: 113-137.
17. UNESCO and World Heritage Convention (2016): Taklimakan Desert—*Populus euphratica* Forests. Tentative List of World Heritage Site Nominations. <http://whc.unesco.org/en/tentativelists/5532/>. (accessed 2016-12-30)
18. Thevs, N., Zerbe, S., Peper, J., Succow, M. (2008): Vegetation and vegetation dynamics in the Tarim River floodplain of continental-arid Xinjiang, NW China. *Phytocoenologia* 38: 65-84.
19. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998): Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome.
20. Malek, E., Bingham, G.E. (1993): Comparison of the Bowen ratio-energy balance and the water balance methods for the measurement of evapotranspiration. *Journal of Hydrology* 146: 209-220.
21. Hou, L.G., Xiao, H.L., Si, J.H., Xiao, S.C., Zhou, M.X., Yang, Y.G. (2010): Evapotranspiration and crop coefficient of *Populus euphratica* Oliv forest during the growing season in the extreme arid region northwest China. *Agricultural Water Management* 97: 351-356.
22. Zheleznyh, V., Risbekov, Yu. (1987): Analysis of experimental investigations on lizimeters compratively with data on cotton field. [http://www.cawater-info.net/bk/water\\_land\\_resources\\_use/english/iptrid/uz\\_34.pdf](http://www.cawater-info.net/bk/water_land_resources_use/english/iptrid/uz_34.pdf) (assessed 2013-08-28).
23. Cleverly, J.R., Dahm, C.N., Thibault, J.R., Gilroy, D.J., Allred Coonrod, J.E. (2002): Seasonal estimates of actual evapotranspiration from *Tamarix ramosissima* stands using three- dimensional eddy covariance. *Journal of Arid Environments* 52: 181e197.
24. Scott, R.L., Cable, W.L., Huxman, T.E., Nagler, P.L., Hernandez, M., Goodrich, D.C. (2008): Multiyear riparian evapotranspiration and groundwater use for a semiarid watershed. *Journal of Arid Environment* 72: 1232e1246.
25. Lee, J.A., Fang, D.D. (2015): Cotton as a World Crop: Origin, History, and Current Status. Alliance of Crop, Soil, and Environmental Science Societies. doi:10.2134/agronmonogr57.2013.0019.
26. Chou, T. (1960): The problem of channel shifting of the middle reaches of the Tarim River in Southern-Sinkiang. In: Murzayev, E.M., Chou, L. (Eds.): Natural conditions of Sinkiang. Chinese Academy of Sciences, Peking, Prirodnyye usloviya Sin'tsziana NAUK, Moscow, pp. 87-133 (in English).

27. Giese, E., Mamatkanov, D.M., Wang, R. (2005): *Wasserressourcen und deren Nutzung im Flussbecken des Tarim (Autonome Region Xinjiang / VR China)*. Zentrum für Internationale Entwicklungs- und Umweltforschung /ZEU), Universität Giessen, Giessen, Germany.
28. Liu, M.G. (1997): Atlas of Physical Geography of China. China Map Press. Beijing.
29. Tian, Y.Z. (1991): Tokai on the delta at the lower reach of the Keriya River - a natural vegetation complex reflecting ecological degradation. In: Jäkel, D. (eds.): Reports on the "1986 Sino-German Kunlun-shan Taklamakan Expedition". Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, Berlin, pp. 99-112.
30. Ogar, N. P. (2003) Vegetation of river valleys. In: Rachkovskaya, E.I., Volkova, E.A., Khramtsov, V.N. (eds.): Botanical geography of Kazakhstan and middle Asia (Desert region). Komarov Botanical Institute of Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Institute of Botany and Phytointroduction of Ministry of Education and Science of Republic Kazakhstan, Almaty, Institute of Botany of Academy of Sciences of Republic Uzbekistan, Tashkent, pp. 313-339. (in English).
31. Wang, S.J., Chen, B.H., Li, H.Q. (1996): Euphrates Poplar Forest. China Environmental Science Press. Beijing. (in English).
32. Gries, D., Zeng, F., Foetzki, A., Arndt, S.K., Bruelheide, H., Thomas, F.M., Zhang, X.M., Runge, M. (2003): Growth and water relation of *Tamarix ramosissima* and *Populus euphratica* on Taklamakan desert dunes in relation to depth to a permanent water table. *Plant Cell and Environment* 26: 725-736.
33. Keilholz, P., Disse, M., Halik, Ü. (2015): Effects of Land Use and Climate Change on Groundwater and Ecosystems at the Middle Reaches of the Tarim River Using the MIKE SHE Integrated Hydrological Model. *Water* 7: 3040-3056.
34. Thevs, N., Zerbe, S., Peng, H.Y., Rouzi, A., Abdusalih, N. (2015): Water allocation and water consumption of irrigation agriculture and natural vegetation in the Aksu and Tarim river basin, Xinjiang, China. *Journal of Arid Environments* 112A: 87-97.
35. Khamzina, A., Sommer, R., Lamers, J.P.A., Vlek, P.L.G. (2009): Transpiration and early growth of tree plantations established on degraded cropland over shallow saline groundwater table in northwest Uzbekistan. *Agricultural and Forest Meteorology* 149: 1865-1874.
36. Thevs, N., Rouzi, N. (2015): Evapotranspiration of Cotton, *Apocynum pictum*, and *Zyzyphus jujuba* in the Tarim Basin, Xinjiang, China. *Journal of Water Resource and Protection* 7: 1001-1009. (<http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2015.713081>).
37. Ibragimov, N., Evett, S.R., Esanbekov, Y., Kamilov, B.S., Mirzaev, L., Lamers, J.P.A. (2007): Water use efficiency of irrigated cotton in Uzbekistan under drip and furrow irrigation. *Agricultural Water Management* 90: 112-120.
38. Costa dos Santos, C.A., Bezerra, B.G., da Silva, B.B., Rao, T.V.R. (2010): Assessment of daily actual evapotranspiration with SEBAL and S-SEBI algorithms in cotton crop. *Revista Brasileira de Meteorologia*. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862010000300010>.