

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
ГОУ ВПО
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
(РГГМУ)

УДК 556.555.2 (262.8)

На правах рукописи

Халиль Альрахман А.Х. Атва

ФОРМИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД АРИДНОЙ ЗОНЫ

Специальность 25.00.27 –
гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург 2010

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом университете (РГГМУ), кафедра гидрологии суши.

Научный руководитель:

доктор географических наук Мякишева Наталия Вячеславовна

Официальные оппоненты:

доктор географических наук Барышников Николай Борисович

кандидат технических наук Трушевский Виктор Леонидович

Ведущая организация:

Государственное учреждение
«Государственный гидрологический институт»

Защита состоится “24” июня 2010 г в 15 час 30 мин на заседании диссертационного совета Д 212.197.02 в Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу:
195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский проспект, 98, ауд. 308.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета.

Автореферат разослан “ 24 “ мая 2010 г

Ученый секретарь
диссертационного
совета, канд. геогр.
наук, профессор



В.Н.Воробьев

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Исследуемый регион находится на территории Ближнего Востока, где расположены государства Сирия, Иордания, Саудовская Аравия, Йемен, Оман. Они относятся к аридной зоне субтропиков, где дефицит водных ресурсов в год составляет от 1200 до 2000 мм. На этой территории всегда была проблема с водоснабжением, но в последние десятилетия она особенно обострилась в результате постоянного роста населения (например, Йемен находится на пятом месте в мире по темпам роста населения) и расширения орошаемых сельскохозяйственных площадей при одновременном ухудшении качества воды за счёт сброса загрязнённых использованных вод. С нехваткой воды связаны экономические, социальные и даже политические проблемы, особенно на трансграничных реках и водотоках. Сильно увеличилось потребление подземных вод, что уже приводит к понижению уровня грунтовых вод в районах городов, то есть используются не восполняемые запасы подземных вод.

Водная проблема усиливается плохо контролируруемыми процессами использования водных источников, особенно скважин по добыче подземных вод, которых насчитываются десятки тысяч в районах орошаемого земледелия и обводнения пастбищ.

Проблему водообеспечения усиливает очень неравномерное распределение осадков по рассматриваемой территории. Наибольшее количество осадков выпадает в самых высокогорных районах (северо-запад и юго-запад региона), а самые населённые районы находятся в низкогорных местах. Поэтому рациональное использование водных ресурсов является весьма актуальной проблемой, а без изучения современного состояния составляющих водного баланса, особенно стока поверхностных вод имеющих свои особенности формирования, не представляется возможным.

Целью работы является разработка методов расчёта стока поверхностных вод, формирующихся в аридных условиях субтропиков при отсутствии постоянно действующих водотоков.

В задачу исследования входило:

- оценка статистических характеристик и гидрометеорологических параметров, используемых для исследований;
- исследование особенностей распределения осадков и испарения по территории, как основных факторов формирования стока воды;
- изучение особенностей формирования поверхностного стока исследуемой территории;
- разработка методов расчёта поверхностного стока воды при отсутствии данных наблюдений.

Методы исследований базируются на генетическом и вероятностно-статистическом анализе гидрометеорологических данных по исследуемой

территории, использовании метода гидрологической аналогии и географической интерполяции. Для расчётов элементов водного баланса использовались разработанные в России методы, основанные на генетических подходах, системном и графо-аналитическом анализе.

Научная новизна работы заключается в следующем:

впервые на единой методической основе построены карты максимальных и минимальных осадков, максимального стока;

построены новые карты среднегодовых осадков, стока воды и испарения;

разработана методика расчёта поверхностного стока воды гидрологически неизученных водотоков аридной зоны, всегда имеющих период стока меньше года;

предложен новый вид балансового уравнения для определения стока воды.

На защиту выносятся новый комплексный методический подход к оценке водности аридных территорий, включающий комплект карт водного баланса за период дождей и способы оценки стока воды разработанные и построенные лично автором.

Практическая значимость. Предложенный методический подход целесообразно применять при разработке проектов, связанных с оценкой водных ресурсов аридных регионов с недостаточной гидрологической изученностью при разработке схем комплексного использования вод. Результаты работы могут быть использованы в учебном процессе Высшей школы при преподавании дисциплин гидрологического цикла.

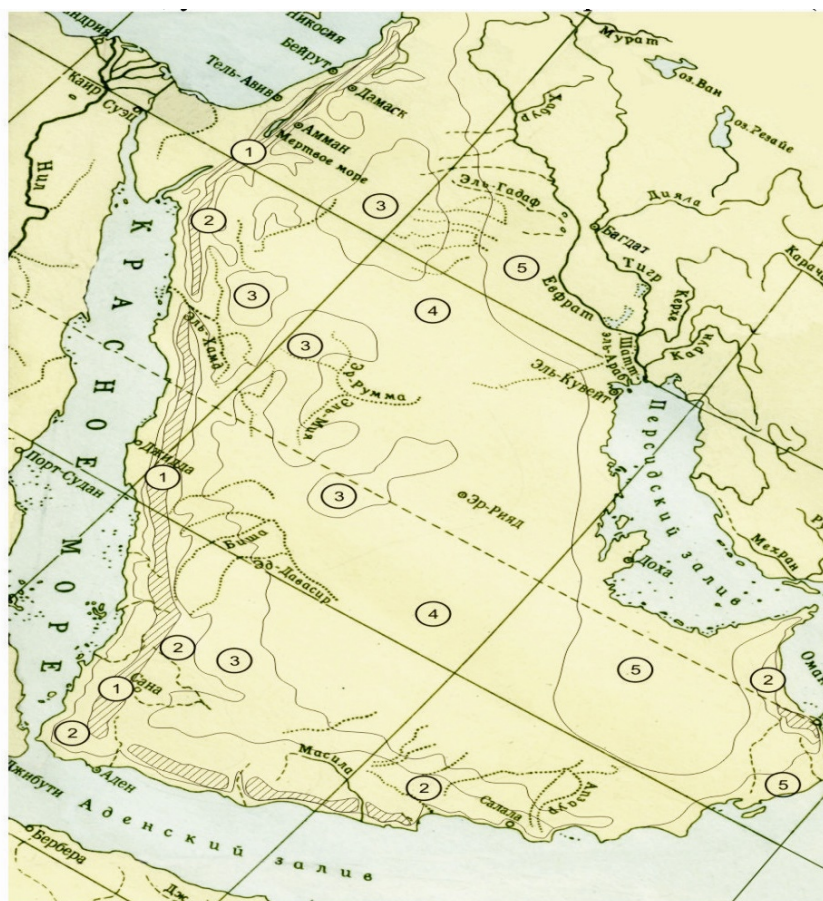
Апробация работы. Основные результаты работы были доложены на научных семинарах и учёных советах РГГМУ в 2008–2010 гг. На 111 международной конференции «Полярный год» 2008 г. Отражены в трёх публикациях, включая рекомендованные ВАК`ом.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы из 84 наименований. Работа содержит 113 страниц текста, включая 36 рисунков и 3 таблицы.

1. Краткая физико-географическая характеристика региона исследований

Зона субтропиков охватывает обширные территории Земли. В данном случае рассматривается территория Ближнего Востока Азиатского континента, на которой расположены Сирия, Иордания, Саудовская Аравия, Йемен и Оман, примыкающие к Средиземному, Красному и Аравийскому морям. С севера расположены горы Малой Азии, с запада и юга они также ограничены горами, а с востока месопотамской низменностью, Персидским и Оманским заливами. Особенностью этой территории является то, что преобладающие влагоносные ветры, дующие с указанных морей, встречаются относительно не далеко от моря горные гряды.

Наибольшие отметки высот имеются в северной части горной гряды (2500 – 3200 м в Сирии) и в южной (до 3760 м в Йемене). В средней части эти отметки составляют от 600 до 1800 м (Иордания и Саудовская Аравия). Высотные отметки основной части территории уменьшаются с запада на востока и составляют 200 – 400 м, увеличиваясь на плоскогорьях до 600 м (Рисунок 1).



1-горы; 2-предгорья(возвышенности); 3-плоскогорья; 4-равнина; 5-низменность

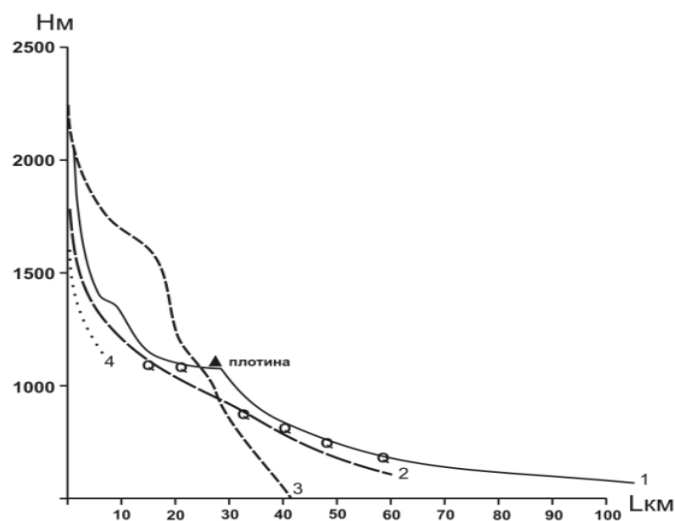
Рисунок 1 -Морфологически однородные регионы территории исследования

На севере региона находится Сирийская пустыня, переходящая южнее в Иорданскую и далее в самую большую Аравийскую пустыню. На их

пространствах находятся обширные плоскогорья и замкнутые котловины, в которых встречаются заболоченные и солончаковые земли, а также озера, находящиеся ближе к горам. Западная часть региона, примыкающая к морям, представляет собой плоские равнины, имеющие ширину от 20 до 80 – 100 км и примыкающие с восточной стороны к подножью горных систем. Вдоль побережья Персидского залива протянулась низменность шириной до 150 км, местами заболоченная и покрытая солончаками. Равнинные пустынные территории Аравийского полуострова морфологически являются относительно однородными местами, со скудным почвенным покровом. Поверхность покрыта, в основном, гравийно-песчаной смесью. Достаточно мощный почвенный покров имеется лишь в предгорных районах, особенно в понижениях и долинах. В северной части региона существует слабый почвенный покров, но достаточный для наличия травяной растительности, обеспечивающей существование овцеводства. Водоносные горизонты обычно располагаются в песчаниках, известняках, а также в плотных, но трещиноватых породах. Наиболее обводненными являются пески четвертичного возраста, заключенные в речных отложениях при выходе с гор, а также известняки мелового периода в горах и нагорьях. Наличие на поверхности водосборов легко проницаемых для осадков пород способствует инфильтрации воды. Это ведет к образованию временных и постоянных родников, дающих начало вад и рекам. По классификации ЮНЕСКО климат рассматриваемой территории изменяется от сверхзасушливого (пустыни, большая часть плато, частично прибрежные равнины), до засушливого и полузасушливого в равнинных и полугорных районах. В горных долинах, на западных и южных склонах горной цепи климат относится уже к субувлажненному, поскольку количество выпадающих осадков резко возрастает, а температура меняется не так сильно, как в пустыне. На климат региона основное влияние оказывают Средиземное, Красное и Аравийское моря. Они влияют на атмосферную циркуляцию над рассматриваемой территорией. Наличие больших водных пространств способствует существованию пассатов, насыщающих влагой воздушные массы и обуславливающих атмосферную циркуляцию в этом регионе.

Наиболее увлажненными территориями являются западные и южные склоны гор, протянувшиеся с севера на юг и по южной части Аравийского полуострова.

Дожди чаще всего выпадают в форме ливней, охватывающих от нескольких десятков квадратных километров до нескольких сотен километров. Большая часть выпадающих осадков возвращается в атмосферу в результате испарения и транспирации, меньшая часть уходит на поверхностный сток и инфильтрацию, пополняя подземные водоносные горизонты. Гидрографическая сеть рассматриваемой территории распределена очень неравномерно. Она состоит из нескольких рек с постоянным стоком и большого числа временных водотоков, имеющих сток в период дождей и некоторое время после них (Рисунок 2).



1 – р. Барада; 2 – р. Хаса; 3 – вади; 4 – суходол.
Q – родник

Рисунок 2 – Продольные профили водотоков

На Аравийском полуострове и в Северной Африке они называются "вади". Вади могут иметь в длину не только десятки, но и сотни километров. В этом случае они расположены в глубине Аравийского полуострова. На водосборах рек и вади существуют ещё суходолы, имеющие сток только в период дождей. Верхняя часть водосборов имеет очень большие уклоны. Наибольшая густота сети наблюдается в горных районах. Имеются большие вади на двух плато в северной и центральной частях Аравийского полуострова. Вади, начинающиеся в горах или на возвышенностях, обычно заканчиваются в бессточных впадинах. Большие вади в своих руслах имеют выходы родников, обеспечивающих их длительное существование (до 8 - 10 месяцев). Для таких водотоков характерно постепенное уменьшение удельного питания (модуля стока) с увеличением площади водосбора, вплоть до прекращения стока воды к окончанию (устью) вади. Вади, расположенные на побережье, оканчиваются не доходя до моря и теряют воду в рыхлых отложениях прибрежной зоны. Развитие орошаемого земледелия, рост городов и других населенных пунктов, скотоводство и другие виды хозяйственной деятельности оказывают большое влияние на водный режим водотоков, его изменение по длине русла, перераспределение по территории. Особенно сильно это влияние сказывается на подземные воды, на их уровни. Поскольку интенсификация водопользования в значительной мере происходит за счёт подземных вод. В последние два десятилетия добыча подземных вод увеличилась в 1,5 - 2 раза, а местами и более. Этому способствовали современные механизмы бурения скважин, а также отсутствие должного контроля производства буровых работ и использования воды.

2. Гидрометеорологическая изученность региона исследований и оценка гидрометеорологических элементов

Распределение гидрологических постов по исследуемой территории очень

неравномерно. Основная часть постов располагается в пределах выхода водотоков с гор.

Большинство водомерных постов было открыто в 70-х – 80-х годах прошлого века. Самые ранние наблюдения за стоком воды имеются в Сирии. В Иордании гидрометеорологическая сеть существует с 30 – 40-х годов, хотя метеонаблюдения в городе Аммане начались ещё в 1922 г. Гидрологические наблюдения начались намного позже, в основном в 70 – 80-х годах. В Саудовской Аравии систематические метеонаблюдения начались в 50-х годах, лишь в г. Эль-Риад они начались в 1940 г. Гидрологические наблюдения на водотоках стали производиться в основном с 80-х годов.

Молодая гидрометеорологическая сеть имеется в Йемене. Она организована в основном с 1975 по 1985 гг.

Анализ данных производился существующими вероятностно-статистическими методами, позволяющими оценить среднемноголетние характеристики и вероятные значения этих характеристик, предварительно сделав анализ надёжности исходной информации. Имеющиеся ряды проверялись на однородность, случайность и независимость их формирования. Исследовалась внутренняя корреляция и вид распределения. Гидрометеорологические характеристики рассматривались, как совокупность случайных величин, без учёта их временной и пространственной последовательности. Частота повторения оценивалась по кривым обеспеченности.

Основным типом кривой обеспеченности является умеренно-асимметричная кривая и асимметричная кривая. Умеренно-асимметричная кривая использовалась, в основном, при определении осадков, а асимметричная кривая применялась ещё и для определения стока воды. Использовалась усреднённая эмпирическая кривая обеспеченности. Полученные данные применялись при построении карт и графиков.

Проверка статистических рядов на однородность производилась с использованием критериев Стьюдента (t) и Фишера (F). Принимался 5% уровень значимости. Практически во всех случаях сравниваемые выборки рядов со слоями осадков являлись однородными. Ряды со слоями стока в большинстве случаев были однородными в зонах формирования стока. Приведение осуществлялось для постов с периодом наблюдений 10 лет и более.

При построении кривых обеспеченности эмпирическая обеспеченность устанавливалась по формулам:

$$P = m/(n + 1),$$

В случае наличия нулевых значений в ряду наблюдений рассматриваемой характеристики использовалась формула

$P = n_1 P_1 / (n_1 + n_2)$. Аналитическая кривая подбиралась до наилучшего соответствия эмпирическим точкам или использовалась осреднённая эмпирическая кривая при невозможности использования аналитической.

3. Атмосферные осадки

Наиболее увлажнёнными районами Ближнего Востока являются приморские горные районы. Но с удалением от моря количество осадков быстро уменьшается, приходя к минимальному в пустынных районах, которые занимают основную часть территории. Поэтому населённые пункты концентрируются в горных районах. Более 90 % городов и посёлков расположены вдоль горной гряды, протянувшейся с севера на юг от Средиземного моря до Аденского залива. Горная цепь является определённой преградой для осадков западного переноса, который здесь преобладает в течении года. В самых южных районах, расположенных вдоль Аденского залива и Аравийского моря, на перемещение осадков оказывают влияние муссонные потоки, приходящие с Индийского океана. Поэтому режим выпадения осадков несколько меняется. В таблице 1 показано распределение местных осадков по территории с севера на юг.

В северной части исследуемой территории влажный период, когда количество месячных осадков превышает 10 % от суммы годовых, длится с ноября по март. В этот период выпадает 85% от общей суммы осадков. В средней части территории имеются два периода с существенными осадками. Один с ноября по январь, а второй с марта по май. В сумме выпадает 87 -90% осадков, но в приморской части Красного моря в каждый период выпадает почти одинаковое количество осадков (по 43 - 45%), а в пустынной основная часть осадков (три четверти) выпадает весной. В юго-восточной части региона, занимаемой прибрежной зоной со стороны Аравийского моря, основные осадки выпадают в декабре-марте, составляя 80% от годовых осадков.

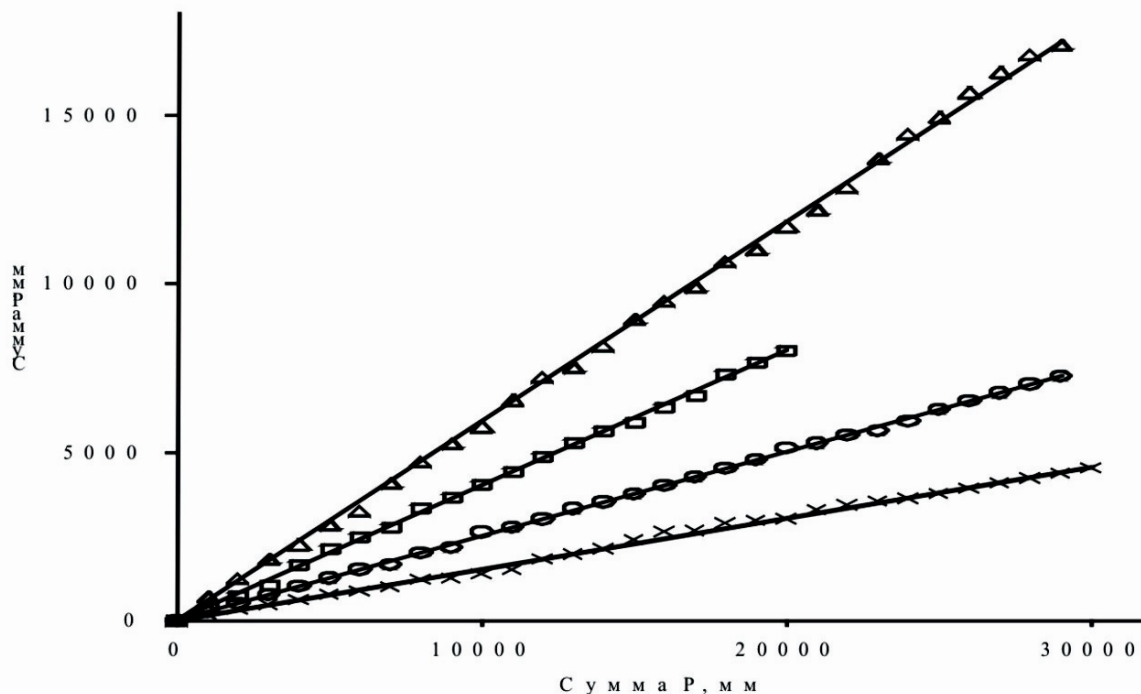
В практике гидрологических расчетов для определения годовых осадков принято использовать календарный год. Однако, учитывая специфические условия климата рассматриваемой территории, целесообразно использовать не календарный, а гидрологический год, начинающийся с 1 ноября и заканчивающийся 31 октября следующего года. В этом случае учитываются полностью осадки, формирующие речной сток в холодный сезон года (декабрь-февраль), когда на части территории выпадает максимальное количество осадков. Учитывая, что почти на всей территории имеются периоды с ежегодным отсутствием осадков от одного до трех месяцев, а если к этому добавить еще месяцы с минимальным количеством осадков (до 10 мм), то период с отсутствием стокообразующих осадков увеличивается до шести - семи месяцев. Поэтому целесообразно говорить не о годовых осадках, а об осадках за период выпадения дождей. Если же суммарные осадки за этот период отнести к календарному году, то это будут осадки за 12 месяцев и их следует называть "условно годовыми". Тем более, что они могут в действительности характеризовать осадки лишь за 9 - 10 месяцев, или даже за меньший период. Так, основная часть исследуемой территории не имеет осадков от трех до четырех месяцев, если не принимать во внимание выпадение осадков один

Таблица 1 – Распределение среднеголетних осадков по месяцам за год

В процентах

Пункт	Период	Распределение осадков по месяцам											
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Дамаск (Сирия)	1881 – 1999	21.0	20.0	9.8	5.1	2.9	1.7	0.0	0.0	0.8	4.5	13.1	21.1
Амман (Иордания)	1922 – 1999	22.0	18.0	11.0	5.2	2.1	2.0	0.0	0.0	0.7	4.7	13.8	20.5
Медина (Саудовская Аравия)	1957 – 2003	11.0	3.1	18	16.5	12.0	0.3	0.0	4.6	0.7	3.8	18	12
Эль-Рияд (Саудовская Аравия)	1940 – 2003	12.0	5.7	26.0	30.0	9.2	0	0.0	0.3	0.0	1.2	5.4	9.6
Ярим (Йемен)	1970 – 1999	0.5	1.5	9.5	25	20	4.5	16	14	5	2.5	1.2	0.3
Маскат (Оман)	1890 – 2003	28.0	20.0	13.8	8.1	1.6	0.2	0.8	0.2	0	1.6	7.6	18.1

два раза за 40 – 45 лет в количестве 1 – 2 мм. Однородность рядов наблюдений за осадками определялась, как это указано в разделе 2.2, с использованием критериев Стюдена и Фишера. Дополнительно строились графики связи интегральных сумм сезонных осадков за каждый гидрологический год (Рисунок 3).



△ - Бейрут-Дамаск, □ - Бейрут-Амман, о - Амман-Харабо, х - Амман-Бакуха

Рисунок 5 - Связь интегральных сумм осадков за сезон дождей гидрологического года.

Метеостанции расположены в горных и полугорных районах на расстоянии в 50 – 100 км. Для установления расчетного периода были построены разностные интегральные кривые для пунктов с наиболее длинным периодом наблюдений, который составил от 30 до 120 лет. Период с 1970 по 2003 г. можно рассматривать как период, характеризующийся средним многолетним значением осадков, а также может быть использован для построения кривых обеспеченности. Для горных районов исследовалась связь суммарных осадков за гидрологический год с высотой местности для северных и южных районов. ВМО рекомендуется для исследуемой территории построить фоновую зависимость годовых осадков от высоты местности, осредненную по группам метеостанций вида $P=f(H)$. Фоновая линия связи нивелирует влияние местных особенностей при выпадении осадков. Она используется при определении генерального направления изолиний, а также для уточнения их положения при небольшом количестве данных наблюдений. В последнем случае рассчитывается коэффициент отклонения наблюдаемых данных от фоновых значений, которые используются для построения карты годовых осадков. Для этих же целей применяются графики связи средних многолетних годовых

осадков и высоты водосбора. С их помощью определяется градиент изменения осадков по высоте для интервалов в 100 или 200 метров.

Таблица 2 – Фоновые среднемноголетние осадки

Интервал высот, м		Средняя высота, м	Количество осадков, мм	Число метеостанций
от	до			
450	600	550	180	8
600	800	680	240	18
800	1000	900	330	14
1000	1200	1100	410	12
1200	1400	1300	500	8
1400	2000	1600	610	6

При наведении изогьет учитывалось влияние орографии территории и преобладающее направление влагонесущих воздушных потоков. Автором построена карта изогьет среднемноголетних осадков, суммированных за сезон дождей гидрологического года. Построение кривых обеспеченности среднемноголетних осадков позволило определить осадки за «влажные» годы, соответствующие 5 %-ой обеспеченности и за «сухие» годы, соответствующие году 95%-ой обеспеченности (Рисунок 4).

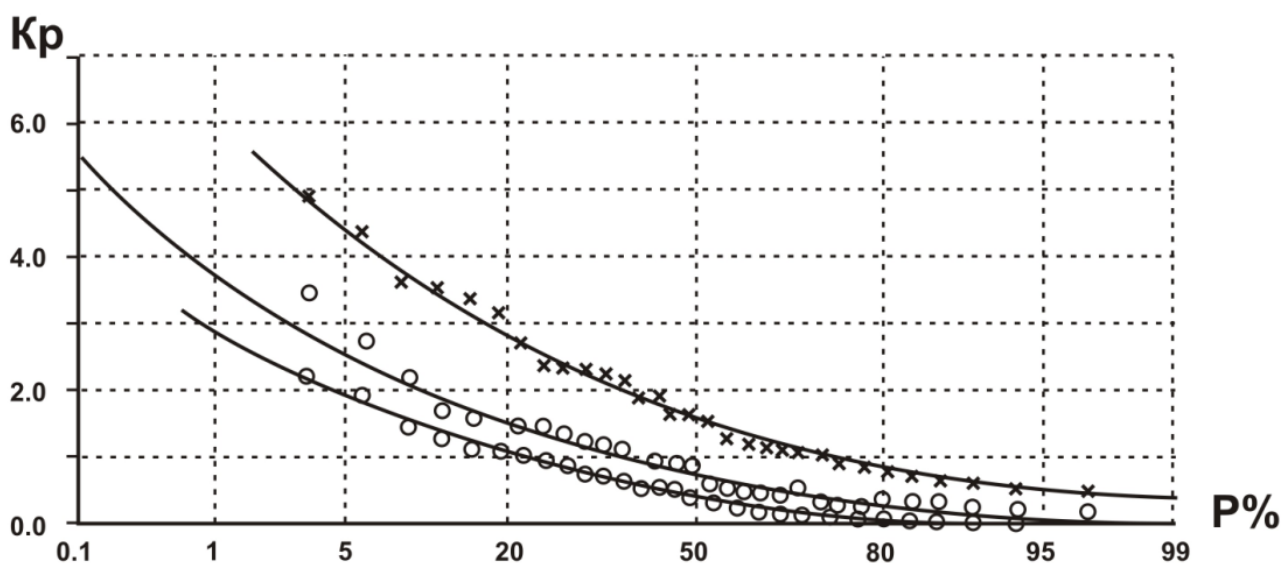


Рисунок 4-Кривые обеспеченности осадков

Во влажный год наиболее сухие территории сокращаются приблизительно в 2 раза. Центры наиболее увлажненных районов расширяются, но в меньшей мере, чем уменьшаются сухие территории. В «сухие» годы основная часть исследуемой территории получает от 10 до 50 мм осадков. Лишь в высокогорных районах их количество остается относительно существенным, составляя 100-200 мм и до 300-500 мм на северо-западе. Карты, построенные автором, позволяют судить об обводненности территории в экстремальные по влажности годы с погрешностью 15 – 20 %.

4. Поверхностный сток воды.

Формирование поверхностного стока воды исследуемой территории, несмотря на её обширность, имеет общие черты. Реки, в общепринятом понимании, есть лишь на северо-западе и одна на крайнем юге. Гидрографическая сеть есть только в горных районах и на некоторых плоскогорьях. Основную часть гидрографической сети составляют водотоки, существующие лишь в сезон дождей и некоторое время после него. Эти временные водотоки называются – вади. Их можно разделить на вади с длительным присутствием стока воды (до 8 – 10 месяцев) и вади, со стоком в период наибольших осадков (3 – 4 месяца), имеющие сток только в годы с самыми многоводными по количеству осадков и их интенсивности сезоны. В такие сезоны происходит наибольшее пополнение подземных вод, наполнение озёр и водохранилищ, образуются заболоченные участки в замкнутых понижениях на поверхности водосбора. Формирование стока происходит в горах и на возвышенностях. Там выпадает не только большое количество осадков, но имеется и более длительный период их выпадения и наибольшая их интенсивность. Отсутствие осадков в течении многих месяцев ведёт к высыханию поверхности водосборов. Поэтому, в начале сезона осадков, когда выпадает 10-15% дождей от их общего количества, все осадки уходят на первичное увлажнение поверхности водосбора и испарение. Стокообразующие осадки в северных и западных районах возникают в конце ноября - в начале декабря, достигая максимума в январе. В центральных и юго-западных районах наибольшие осадки наблюдаются в начале-середине весны (март-апрель). В это время начинается наибольший сток вод. Чем больше площадь водосбора и меньше уклон, тем длительнее время стока в русле вади. В период наибольших осадков начинают интенсивно работать суходолы, дающие дополнительный приток воды к руслу вади.

Горные породы, слагающие бассейны вади, часто имеют хорошую водопроницаемость вследствие большой трещиноватости, каверности, хорошей пористости. Небольшие водосборы создают одиночные паводки, а достигая большого размера образуют паводочную волну, особенно при наличии в русле родников. Доля подземных вод может составлять в стоке больших вади 40 – 50 % в период формирования паводков и возрастает к концу паводка до 95 – 100 %. Продолжительность основной волны паводков изменяется по годам для конкретного створа и в зависимости от площади водосбора. Для малых водотоков она в среднем находится в пределах 20 –30 суток и включает от трех

до пяти пиков на фоне общей волны паводка. На водотоках с площадями 200-500 км она составляет 50-60 суток, а при больших площадях до 130 суток. Однако, количество пиков меняется не существенно, хотя их объем изменяется более значительно. На суходолах сток редко образует паводочную волну. Формируются только отдельные паводки, образующиеся от наиболее сильных дождей, когда интенсивность выпадания осадков превышает интенсивность впитывания воды в поверхность водосбора. Нередко сток формируется только на одном или двух суходолах из-за локального выпадания осадков (рисунок 5).

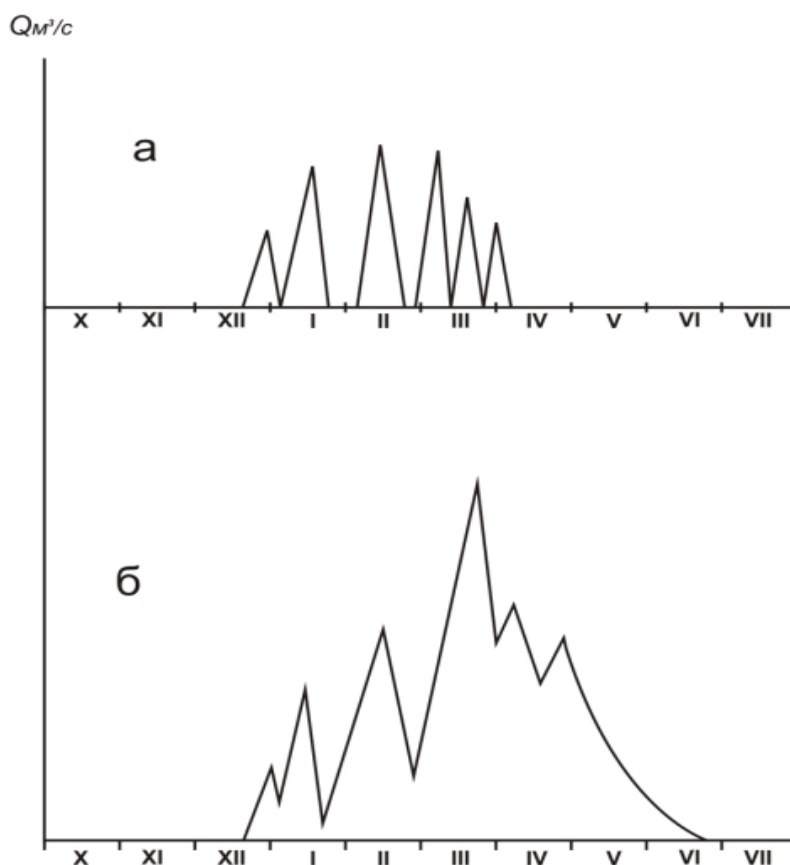


Рисунок 5-Типовые гидрографы стока суходола (а) и вали (б)

Максимальные расходы воды наблюдаются в марте - апреле. При длительном наличии стока меженный период начинается с конца мая - начала июня и до пересыхания реки или вали. Но для большей части вали сток прекращается в среднем многолетнем с середины мая по сентябрь. Только на крайнем северо-западе и на юге сток отсутствует в вали в июне — августе и в июне и сентябре.

Анализ хода выпадения дождя и начала формирования поверхностного стока на возвышенных участках водосборов позволяет считать стокоформирующими осадки, превышающие 10 мм в сутки. Начинается формирование поверхностного стока на возвышенных частях водосборов. Там выпадает наибольшее количество осадков, сильно превышающее испарение, имеются относительно слабопроницаемые почво — грунты и наибольшие уклоны поверхности, что способствует быстрому стеканию воды по

поверхности водосбора. Речной сток целесообразно разделить на три категории: наибольший (оцениваемый по максимальным расходам всех водотоков), средний (оцениваемый за период наличия стока), минимальный сток (оцениваемый по дебету родников в засушливый период года и по стоку рек с постоянным стоком, но с учетом водозаборов). Основную роль в формировании наибольшего стока играют дожди, выпадающие в зимне-весенний сезон. Снеговые и подземные воды имеют меньшее значение. В феврале – апреле формируется максимальный расход воды в реках и вади. Средний расход воды включает все виды стока - дождевой, снеговой и подземный. Он оценивается как среднее значение за период от начала стока до его окончания. Для рек с постоянным стоком это будет среднегодовой сток. Для вади – средний за период работы водотока в данном году. Следовательно, необходимо определять и среднюю продолжительность действия вади, поскольку отнесение среднего расхода вади к календарному году будет фиктивным. Одновременно, использование в расчетах календарного года также будет не верным, так как сток формируется во втором полугодии конкретного года и заканчивается в первом полугодии следующего, по аналогии с Россией, в которой зимний меженный период начинается в конце осени — начале зимы, а заканчивается весной следующего года, т.е. реки России и Ближнего Востока находятся в антифазе.

Минимальный сток целесообразно оценивать по стоку рек и родников в летний период, поскольку сток воды вади отсутствует.

Особенностью гидрографической сети рассматриваемой территорией, как указано выше, является то, что все постоянные реки и основная часть вади берут свое начало в горах. Поэтому наибольший модуль стока наблюдается в верховьях водотоков, хотя площади водосборов в этом случае являются наименьшими. С увеличением площади водосбора снижается его средняя высота и количество выпадающих осадков, одновременно увеличивается время добегания образующейся на водосборе воды до замыкающего створа. При постепенном увеличении водосбора начинает формироваться паводочная волна от наиболее интенсивных дождей. Поэтому водный режим водотока характеризуется наличием одиночных дождевых паводков на малых водосборах с последующим формированием паводочной волны на вади. В естественном водном режиме водотоков Аравийского полуострова можно выделить три зоны: зона формирования стока, зона транзита, зона рассеивания стока.

Постоянные реки, имеющие устья (например, река Иордан), на своем водосборе располагают двумя зонами – формирования и транзита. Для остальных характерно отсутствие четко выраженного устья, когда водоток практически исчезает на поверхности земли в результате постепенного уменьшения расхода воды из-за ее фильтрации в ложе русла. Этому способствуют и водозаборы, происходящие в зоне транзита, наличие водохранилищ, а также увеличение потерь на испарение при переходе водотока в полупустынную зону. Зона формирования стока располагается в горной местности на высотах 800 метров и выше. Ширина зоны составляет в среднем 70 –100 км, включая западные и восточные склоны. В этой зоне водотоки имеют

большие уклоны русел, поскольку на протяжении 10 км от истока отметки русел могут меняться с 2400 м до 1500 м. Ниже они изменяются уже медленнее и отметки русел могут уменьшаться до 100 м на 10 км длины водотока. В зоне транзита эти отметки становятся еще меньше, составляя около 10 м на 10 км. В зоне формирования стока существует большое количество родников, дающих начало рекам и вади. Они могут быть постоянными и временными. Последние появляются после ливневых дождей и дают сток в течении одного-двух месяцев. Располагаются обычно на значительных по высоте частях зоны. Более мощные родники с большими расходами воды приурочены к высотам в 800 — 1200 м и часто выклиниваются непосредственно в русла водотоков, как постоянных, так и временных. В зоне транзита уровень грунтовых вод находится не глубоко и близок к уровню воды в водотоках. С понижением уровня грунтовых вод происходят потери воды из русла водотока. В зоне рассеивания стока уменьшение расхода воды может составлять 0.2 – 0.3 м³/с на 1 км длины водотока. Стокообразующими можно считать осадки, выпадающие в течении суток и дающие слой в 10 – 15 мм. В этом случае начинает формироваться начало паводка. Большую роль при этом играет предшествующая увлажненность поверхности водосбора, особенно почвогрунтов. Анализ распределения среднемесячных осадков по территории показывает, что сток формируется при сезонной сумме осадков в году до 250-300 мм только у суходолов. При сумме осадков до 700 мм начинает формироваться и сток вади. При экстремально больших по интенсивности и длительных ливневых дождях могут возникать даже наводнения, особенно в замкнутых понижениях, бывших древних высохших болотах и озерах. В целом речной сток может быть представлен следующими составляющими:

$$h = h_{пв} + h_p + h_{пз} = h_в + h_c + h_{рс} + h_p + h_{пз} \pm h_б$$

где h – слой стока реки;

$h_{пв}$ – слой поверхностного стока;

h_p – родниковый сток;

$h_{пз}$ – слой подземного стока.

Поверхностный сток состоит из стока вади ($h_в$), стока суходолов (h_c) и мелкой ручейной сети ($h_{рс}$). Родниковый сток существует за счёт подземных вод, но его целесообразно выделить в особую категорию, а остальную часть подземного питания реки в форме фильтрации воды в русло считать подземным стоком.

Для хозяйственных нужд наибольший интерес представляют водотоки с постоянным подземным питанием. К этому типу водотоков относятся реки, имеющие сток воды круглый год и лишь иногда пересыхающие в маловодные годы. Как уже отмечалось, такие реки имеются, в основном, в северо-западных районах исследуемой территории. Ко второму типу водотоков (вади) относятся водотоки с сезонным грунтовым питанием, когда подземные воды поступают в русла в период сезона дождей и некоторое время после. В питании водотоков первого и второго типа большую роль играют родники. К третьему типу

водотоков относятся вади и суходолы не имеющие подземного питания или питающиеся почвенными водами в сезон дождей. Таким образом, на исследуемой территории водотоки с естественным режимом стока имеются в верхней части водосбора и частично в средней. Чем ниже расположен исток водотока, тем больше вероятность, что его сток нарушен хозяйственной деятельностью.

Одной из особенностей формирования стока воды на поверхности Аравийского полуострова является то, что осадки, создающие сток, выпадают, в основном, на узкой полосе шириной 100-150 км, занятой возвышенностями и горами, а вся остальная часть полуострова не получает стокообразующих осадков.

Выделение трех типов водотоков на рассматриваемой территории обуславливает различие в водном балансе водотоков и оценке стока воды не изученных рек. Как ранее указывалось, к водотокам первого типа относятся реки с постоянным стоком в течении календарного года (их всего несколько). К водотокам второго типа относятся вади, а к третьему типу - суходолы.

Средний многолетний сток для водотоков первого типа можно выразить балансовым уравнением общего вида:

$$h=P - E \text{ или } h= P - E \pm h_{\text{п}} ;$$

где h – слой стока;

P – слой осадков за сезон дождей;

E – слой испарения;

$h_{\text{п}}$ – подземный приток (при плюсе) или отток (при минусе), что может происходить на одном и том же водотоке.

Между рекой и подземными водами существует определённая гидравлическая связь. Площади поверхностного и подземного водосборов могут не совпадать.

Многолетний сток для водотоков второго типа можно выразить уравнением:

$$h=P - E+ h_{\text{п}} - h_{\text{ф}},$$

где $h_{\text{ф}}$ - потери воды на фильтрацию в борта и ложи русла при наличии стока.

Водотоки третьего типа являются суходолами. Связь с грунтовыми водами отсутствует. Сток суходолов равен разнице между осадками, выпавшими на водосбор, испарением с его поверхности и потерь на инфильтрацию на водосборе ($h_{\text{иф}}$) и фильтрацию в руслах $h = P - E - h_{\text{иф}} - h_{\text{ф}}$. На водотоках этого типа сток происходит в период дождей в виде одиночных коротких паводков без шлейфа спада и без образования паводочной волны. После окончания сезона дождей русло водотока остаётся сухим. Такие водотоки характерны для склонов гор и возвышенностей, имеющих большие

уклоны. Балансовые уравнения можно использовать для расчёта стока лишь при наличии достаточно надёжных данных об осадках, испарении, подземных водах и фильтрационных потерях. К сожалению, данные об испарении, подземном притоке и фильтрации (инфильтрации) являются приблизительными. Размер и тип водотока определяется отношением между ёмкостями сезонного и многолетнего регулирования, которое может сильно различаться. Малые водосборы вообще не имеют ёмкости многолетнего регулирования, а большие водотоки имеют большую ёмкость для регулирования стока. Наличие карста с медленной водоотдачей или больших озёр на водосборе значительно увеличивают эту способность. Под влиянием осадков объём воды в бассейне постоянно меняется. В многоводные годы бассейн будет переполняться, то есть произойдёт интенсивный сток с поверхности бассейна. В маловодные годы будет существовать в основном подземный сток, который может полностью срабатываться. Например, для моделирования паводка на вади Мадонн (Иордания) использовались монографические данные о водосборе (площадь водосбора 25 км²), типах почв, их предшествующей увлажнённости. При исследовании распределения стока воды на обширных территориях (Аравийский полуостров) главными факторами являются эффективные (или стокообразующие) осадки и коэффициент стока, определяющие появление воды в руслах суходолов и вадии. На величину коэффициента стока влияет несколько факторов: интенсивность и продолжительность осадков, шероховатость поверхности водосбора и его фильтрационные способности, а также уклон поверхности, по которой происходит сток. Исследования изменения коэффициента стока по рассматриваемой территории показывают, что в горных районах он, в среднем, составляет 0,3 - 0,4 в северной части горной гряды и уменьшается до 0,1-0,2 в южной части. При недостаточности данных о стоке воды, для определения коэффициента стока (α) используется индекс сухости, являющийся отношением величины испаряемости (E_0) к сумме осадков (P), характеризующий соотношение тепла и влаги на данной территории. Использование индекса сухости позволяет определить климатический сток (h_k) на рассматриваемой территории. Зависимость коэффициента стока от индекса сухости использовалась при отсутствии данных о стоке на недостаточно изученных районах. Значение стока воды, полученные путём перемножения осадков на коэффициент стока, наносились на карту и использовались для проведения изолиний стока. Общий объём воды, заключающийся в бассейне водотока включает и подземные воды, которые срабатываются значительно медленнее поверхностных. Поэтому паводочный пик растягивается по времени и на относительно больших бассейнах сток в вадии сохраняется несколько месяцев после окончания сезона дождей. В связи с этим коэффициенты стока за отдельный дождь могут существенно отличаться один от другого и в целом за сезон дождей. Обычно определяют коэффициент стока за весь период выпадения осадков за многолетие, то есть он является осреднением за весь период наблюдений. На основании данных гидрометрических наблюдений за период 1970-2003 г., данных за более короткий период, приведённых к указанному периоду и данных, полученных с использованием коэффициента

стока, автором построена карта среднемноголетнего стока, представленная на карте стока в наиболее многоводный сезон, соответствующий 5 %-ной обеспеченности.

Карте стока маловодного сезона, соответствующего стоку 95 % - ной обеспеченности не строится, поскольку в очень маловодный год сток практически отсутствует на всей территории исследований, за исключением 2 – 3 районов с наибольшими высотами местности. Карты изолиний стока позволяют получить общие представления об обводненности больших территорий, сделать сравнительные оценки водных ресурсов. Но в горных районах существенно возрастает ошибка определения стока по карте изолиний из-за большого влияние высоты местности на распределение осадков. Кроме этого, на рассматриваемой территории большое значение имеет экспозиция склонов по отношению к влагоносным ветрам. Поэтому более надёжные данные о стоке можно получить, исследуя зависимость стока от основных факторов, участвующих в формировании стока — осадки, средняя высота водосбора и площадь водосбора. Исследовалась связь стока с осадками, выпавшими на водосбор за период дождей. Анализ графиков связи среднемноголетнего стока со среднемноголетними осадками, выпадавшими на поверхность водосборов вади, показывает, что такая связь существует на всей рассматриваемой территории. Однако теснота связи очень различна и меняется при существенном изменении высоты местности. Поэтому целесообразно одновременно анализировать связь двух факторов — осадки и средняя высота водосбора со слоем стока воды. Дополнительно исследовались связь слоя и модуля стока воды с площадью водосбора, связь модуля стока (q) со средней высотой водосбора, а также связь расхода воды с площадью водосбора. Она описывается уравнениями: $Q = aAn$ и $Q = a(A-f)n$. Параметры a и n характеризуют интенсивность формирования стока воды на водосборе. Параметр f показывает площадь с отсутствием стока. При $n < 1$ интенсивность поступления воды в русла водотоков уменьшается с ростом площади водосборов. Зависимости строятся для районов, однородных по условиям формирования стока. К ним прежде всего относятся: одинаковое положение водосбора по отношению к влагоносным ветрам, относительно одинаковая поверхность водосбора, сходные условия инфильтрации поверхностных вод. Границы районов проводятся по границам основных водоразделов. Для водосборов, у которых средняя высота превышает указанные, целесообразно использовать зависимость слоя или модуля стока от средней высоты водосбора. В результате проведенных исследования можно записать общее уравнение для оценки стока воды в период дождей в следующем виде

$$q = aP + bH_{\text{ср}} + dA + C$$

где q – среднемноголетний модуль стока;

P – среднемноголетние осадки;

$H_{\text{ср}}$ – средняя высота водосбора;

A – площадь водосбора;

а, б, d – районные параметры;
с – остаточный член.

В относительно высокогорных районах наибольший вклад в это уравнение вносят осадки, а затем связанная с ними высота водосбора. В среднегорных районах на первое место выходит высота водосбора, а в более низких местах и в предгорьях основную роль при оценке стока играет площадь водосбора. В пониженных частях исследуемой территории большое значение для питания водотоков имеют подземные воды. Они формируются в зоне дождевого питания подземных вод и постепенно стекают к подножиям горных цепей, где выклиниваются в виде родников, поддерживая сток водотоков, стекающих с гор после окончания сезона дождей. Учитывая определяющую роль осадков в формировании стока водотоков и таких факторов как высота и площадь водосбора, корректирующих распределение стока во времени и по территории, можно предложить такой алгоритм расчёта:

а) сток водотоков, находящихся в зоне формирования стока и имеющих среднюю высоту водосбора более 1200 – 1500 м, можно рассчитывать по районным графикам связи, описывающим зависимость слоя или модуля стока от осадков, выпавших на водосбор, в период дождей, то есть $h = f(P)$. Средняя погрешность расчётов составит 10 – 15% процентов, по сравнению с графиками связи со средней высотой водосбора, дающих большую погрешность.

б) для водотоков, находящихся на относительно небольших (или средних) высотах (от 800 до 1500 м) такую же погрешность (10 – 15 %) дают графики связи слоя или модуля стока со средней высотой водосбора;

в) Водотоки, имеющие основную часть водосбора в низкогорье или на плато, более тесную связь имеют для зависимостей $Q = f(A)$, то есть погрешности расчёта стока укладываются в тех же пределах, что и вышеуказанные;

г) Если водосбор расположен на очень разных высотах, то погрешности расчётов могут возрасти до 20 – 25 %.

д) При интенсивном хозяйственном использовании водотока необходимо производить русловые гидрометрические съёмки, позволяющие выявить участки русла, на которых происходят потери стока или дополнительный приток воды при орошении подземными водами. При осуществлении расчётов стока воды целесообразно исследовать все или основные виды связи и использовать для практических целей не только связи с наименьшей погрешностью, но учитывать и количество и надёжность исходной информации.

5. Испарение и конденсация

Испарение является одним из основных параметров балансового уравнения влагооборота для больших территорий за длительное время. В аридных зонах при отсутствии постоянных водотоков его значение сильно возрастает, как отрицательной составляющей водного баланса.

Факторы, влияющие на величину испарения можно разделить на климатические и факторы подстилающей поверхности. Климатические - влажность воздуха, интенсивность солнечной радиации, температура воздуха и почвы, скорость ветра. Подстилающая поверхность влияет на шероховатость и отражающую способность (альбедо) испаряющей поверхности: открытая (голая) почва, каменная скальная, облесённая. Преобладают голые песчано-каменистые пространства. Потери на транспирацию растительностью невелики, т.к. мала площадь, занятая растительностью, которая существует лишь в горных долинах. Но из общего количества потребляемой воды 75 – 80 % уходит на орошение. Поэтому потери на испарение в локальных районах могут быть существенными. Для горных районов исследовались связи испарения с высотой водосбора и с учётом ориентации склонов, а также использовались данные о температуре и влажности воздуха, скорости ветра, облачность и продолжительность солнечного сияния. Довольно широко применяется методика определения испарения с использованием данных об испаряемости, которая рассматривается как потенциальное испарение с любой поверхности при данных метеорологических условиях и неограниченном подводе влаги к этой поверхности, разработанная М.И. Будыко и известная, как схема Будыко – Зубенок. При составлении мирового водного баланса было определено, что для горных районов существует градиент испаряемости. В зависимости от увлажнённости территории начиная с высоты 500 м над уровнем моря испаряемость на каждые 100 м высоты уменьшается от 10 мм до 30 мм в год.

Значения среднего многолетнего испарения за месяц можно определить, используя комплексный метод Будыко-Зубенок. Для определения испаряемости необходимо иметь данные лишь о температуре воздуха и парциальном давлении пара в воздухе. Расчёты существенно упрощаются и не нужны данные о скорости ветра, тем более, что этих данных почти нет.

Для определения испарения по комплексной схеме необходимы следующие данные: среднемесячная температура воздуха, средняя влажность воздуха, средняя скорость ветра, продолжительность солнечного освещения.

Распределение среднемесячной температуры воздуха по территории исследований меняется не только по сезонам года, но и от высоты местности. Наименьшие, но положительные среднемесячные температуры наблюдаются в сезон дождей, соответствующий осеннее - зимнему периоду, приходящемуся на ноябрь – январь или февраль. Наибольшие температуры, в основном, наблюдаются в июне – июле или июле – августе в глубине территории. Причём, имеется существенное различие в температуре воздуха на равнинных приморских территориях и горных, а также на внутренних высокогорных плато. Связь температуры воздуха с высотой местности показывает, что средний градиент температуры составляет 0.5 – 0.6 на 100 м. Разница в средних месячных температурах между приморскими и горными склонами составляет от 5 до 10 в холодный период и уменьшается в тёплый (жаркий) сезон до 3 – 6 °С. Во внутренних сухих районах (полупустыни и пустыни, внутренние плато) эта разница возрастает до 12 – 15 °С. Исследование изменения среднегодовых

температур воздуха за период с 1966 по 2000 гг., произведённые с использованием индекса Де-Мартона, как интегрального показателя среднегодовых значений температуры воздуха и испарения показал наличие тренда на повышение температуры, особенно за последние 15 лет. Влагосодержание воздуха в своём распределении по территории имеет ту же картину, что и температура воздуха. В приморских районах значения относительной влажности воздуха в течении года довольно устойчивые и изменяются от 65 до 78 %. Но при приближении к горам она начинает уменьшаться до 50 %. В горах среднегодовая относительная влажность находится в пределах 40 – 60 % и уменьшается на восточных склонах до 30% . На основной территории внутри Аравийскоо полуострова она находится в диапазоне 20 – 45 %. Расчёт испарения по методу Будыко производился для среднего года с использованием карты среднемноголетних осадков за сезон дождей и карты среднемноголетнего стока (раздел 3 и 4). Влияние высоты водосбора на испарение анализировалось с помощью графиков связи, пример которых показан для разных высотных зон (рисунокб).

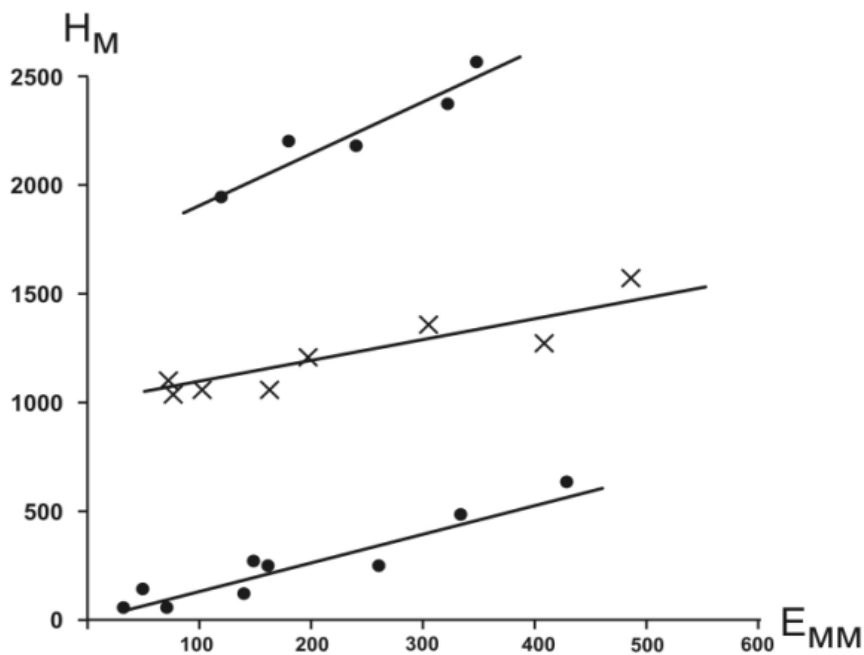


Рисунок 6 –Зависимость среднемноголетнего испарения от высоты местности

Исследования связи испарения с осадками при разной глубине залегания грунтовых вод, произведённые в Государственном гидрологическом институте, показывают, что при глубоком залегании грунтовых вод и осадках меньше 300 мм испарение определяется, в основном, количеством осадков и по величине близко к ним. При осадках более 300 мм испарение мало меняется и не превышает 350 мм, хотя испаряемость может меняться от 1300 до 1700 мм. Это связано с тем, что осадки выпадают в холодный сезон, когда энергетические ресурсы испарения не велики. В тёплый сезон испарение

ограничено аккумулятивной в сезон дождей влагой в почво-грунтах. Однако, если осадки существенно превосходят сумму испаряемости за холодный сезон, то испарение становится независимым от осадков. Но если поверхность водосбора оголена от почвы или закарстована или горные породы поверхности сильно разрушены, то инфильтрация имеет провальный характер и испарение с поверхности суши незначительно. Если имеется достаточно мощный чехол осадочных пород (горные долины или предгорья), то выпадающие осадки в основном поглощаются почво-грунтами и в последующем испаряются. Основные потери воды на испарение происходят в предгорьях. Чем дальше от гор тем меньше осадки, глубже залегают подземные воды и поэтому меньше испарение, хотя испаряемость возрастает. С испарением связано такое природное явление как конденсация влаги. Конденсационные воды составляют небольшую долю в общем объеме поступающей на исследуемую территорию воды. Конденсационные воды лишь увлажняют почвенно-грунтовый слой при резкой смене дневных и ночных температур при переходе через точку росы. Однако в условиях длительного отсутствия воды оно имеет существенное значение для скудной растительности и животного мира аридных территорий. К сожалению, исследования в этом плане отсутствуют, хотя визуальные наблюдения свидетельствуют о наличии достаточно обильной росы в ночные и утренние часы, особенно на поверхности каменистой пустыни. Часть этой воды может поступать под землю.

Общее уравнение водного баланса для аридной территории должно включать составляющую конденсационных вод и иметь следующий вид:

$$P+K-W-Q-E-Q_{вз}+Q_{сб}=0,$$

где P – осадки;

K – конденсация;

W – подземные воды;

Q – поверхностный сток;

E – испарения;

$Q_{вз}$ – водозабор;

$Q_{сб}$ – сброс использованных вод.

Закключение.

В результате произведённых исследований получены следующие результаты:

- Осуществлён анализ типов имеющихся на исследуемой территории водотоков и выделено три типа:

Основной тип водотока – вади, имеющий сток в течении сезона дождей и

несколько месяцев после его окончания при общей продолжительности стока от 4-5 до 8-10 месяцев;

Суходолы – водотоки, имеющие сток в течении сезона дождей и существующие только за счёт поверхностного стока;

Реки, имеющие постоянный сток в течении года за счёт подземного питания. Исследования базируются на данных о стоке вади.

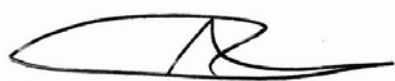
- Определена зона питания водотоков и формирования стока воды.
- Построены карты осадков за многоводный, средний и маловодный годы, соответствующие 5%-ной, 50%-ной и 95%-ной обеспеченности.
- Построены карты стока воды за многоводный сезон, соответствующий 5%-ной обеспеченности, и за средний многолетний сезон дождей.
- Построена карта испарения за среднемноголетний период.
- Получены региональные зависимости стока от основных физико-географических факторов и предложены формулы по расчёту расходов воды неизученных водотоков.
- Предложен новый вид балансового уравнения для определения стока воды.
- Предложен комплексный методический подход к оценке водности аридных территорий, включающий карты, графики и формулы для расчёта стока воды неизученных в гидрологическом отношении водотоков, ежегодно прерывающих свой сток на длительный срок.

1 Владимирова, А.М. Оценка водного баланса аридных территорий [Текст] / А.М. Владимирова, Х.А. Атва // Естественные и технические науки.–2009.–С.172 – 176

2 Атва, Х.А. Распределение осадков по аридных территориях Ближнего Востока [Текст] / Х.А. Атва // Докл. 111 конфер.международ. полярного года, Санкт-Петербург, 12 – 132 ноября 2008 г.–СПб.: Изд. РГГМУ, 2008.–С.129 – 130

3 Атва, Х.А. Речной сток аридной зоны субтропиков [Текст] / Х.А. Атва // Ученые записки Рос.гос.гидромет.ун-та.–СПб.: Изд. РГГМУ, 2009.–№ 11.–С.46 – 52.

Соискатель



Халиль Альрахман А.Х. Атва

Подписано в печать 21.05.2010. ФОРМАТ 60*90/1.5

Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. Печ. Л.3

Тираж 100 экз. Заказ 110

Отпечатано в типографии ООО «название »

адрес