

Атwa Халиль Аль-Рахман Ахмад

РЕЧНОЙ СТОК АРИДНОЙ ЗОНЫ СУБТРОПИКОВ

Atwa Khalil Al Rahman Ahmad

RIVER RUNOFF OF THE ARID ZONE OF SUBTROPICS

Рассматриваются особенности формирования стока водотоков горно-равнинных территорий Ближнего Востока Азиатского континента. Основное число водотоков относится к категории временных, действующих в период дождей и называемых вади. Рассматриваются зоны формирования стока, зоны транзита и рассеивания стока, роль подземных вод. Существование трех типов водотоков обуславливает различие в способах расчета стока воды водотоков.

Ключевые слова: сток воды, зона формирования, зона транзита, зона рассеивания, гидрографическая сеть, максимальный сток, поверхностный сток, подземный сток.

Features of runoff formation of water streams in the mountain-plain regions of the Middle East on the Asian continent are considered. Most water streams are of the temporary nature, called wadi, which operate in rain seasons. The zones of runoff formation, the transit and dispersion zones and the role of underground water are under study. There being three types of the water streams, this leads to different techniques of runoff calculation.

Key words: water runoff, formation zone, transit zone, dispersion zone, hydrographic network, maximum runoff, surface runoff, underground runoff.

Зона субтропиков охватывает обширные территории Земли. В данном случае рассматривается территория Ближнего Востока Азиатского континента, на которой расположены Сирия, Иордания, Йемен, Саудовская Аравия и другие страны, примыкающие к Средиземному и Красному морям. Основная часть территории занята полупустынями и пустынями. С севера расположены горы Малой Азии, с запада и юга она также ограничена горами, а с востока – Месопотамской низменностью и Персидским и Аденским заливами. Особенностью этой территории является то, что преобладающие влагоносные ветра, дующие с указанных морей, встречаются относительно недалеко от моря горные гряды, протянувшиеся с севера на юг вдоль глобального геологического разлома. Это тектоническая впадина, северная часть которой называется Гор, а ее продолжение – Вади-Эль-Араб. В ней протекает р. Иордан, впадающая в Мертвое море, южнее его находится залив Акаба, принадлежащий Красному морю. Это самая глубокая впадина на земной поверхности, поскольку отметка дна Мертвого моря составляет 793 м ниже уровня Мирового океана, а средняя отметка уровня уреза воды 395 м ниже океана. Море не имеет стока. Ширина впадины меняется от 7 до 25 км. По обеим сторонам впадины расположены горы, расчлененные относительно короткими и глубокими ущельями. Наибольшие отметки высот имеются в северной части горной гряды (2500 – 3200 м, Сирия) и в южной (до 3760, Йемен). В средней части эти отметки составляют от 600 до 1800 м (Иор-

дания). Высотные отметки основной части территории уменьшаются с запада на восток и составляют 200 – 400 м, увеличиваясь на плоскогорьях до 600 м. Имеются обширные базальтовые плато и большие замкнутые понижения.

В строении горных хребтов преобладают осадочные карбонатные породы: известняки юрского мелового и палеогенного возраста, а также прослойки песчаников и глин. В период кайнозойской эры существовали обширные пресные озера.

Равнинная территория Аравийского полуострова морфологически является относительно однородной. Поверхность покрыта в основном гравийно-песчаной смесью. Почвенный покров имеется в предгорных районах, особенно в понижениях и долинах.

Формирование стока рек рассматриваемой зоны субтропиков обусловлено тремя основными компонентами: климатом, рельефом и подземными водами. Климатические факторы и подземные воды создают речной сток, а факторы рельефа его перераспределяют по территории.

Главными климатическими факторами являются осадки, испарение и температура воздуха и почвы. Осадки создают поверхностный и подземный сток, температура влияет на испарение.

Наиболее увлажненными районами Ближнего Востока являются приморские горные районы Средиземного моря. Но с удалением от моря количество осадков быстро уменьшается, приходя к минимуму в пустынных районах. Поэтому населенные пункты концентрируются в горных районах. Преобладающая форма осадков – это дожди. Снег выпадает редко и только на вершинах гор, имеющих высоты более 2000 м, и быстро тает. Дожди выпадают с октября по май. Наибольшее количество осадков наблюдается в течение трех месяцев – декабрь, январь и февраль. В летний период (июль – август) дожди вообще отсутствуют. Зимой выпадает 60 – 65 % осадков, а весной и осенью по 15 – 20 % дождей. При этом в мае – июне и сентябре выпадает лишь 1 – 2 % дождей в месяц, которые уходят на испарение. Следовательно, период с мая по сентябрь (пять месяцев) можно считать периодом с полным отсутствием осадков, способных питать водотоки. Если к этому периоду добавить еще апрель и октябрь, когда выпадает в среднем около 5 % дождей в месяц от общего количества, то этот период с отсутствием дождливого питания водотоков увеличивается до семи месяцев.

Учитывая, что длительное отсутствие дождей ведет к высыханию поверхности водосбора, то осадки ноября, составляющие в среднем 13 – 14 % от их общего количества, в основном уходят на увлажнение почвогрунтов водосбора (помимо потерь на испарение). Поэтому стокообразующие осадки возникают лишь в декабре, и поверхностный сток за счет осадков существует лишь в декабре – марте.

Речная сеть имеет своеобразный характер. Реки с постоянным стоком в течение года существуют только в горных районах и их количество очень невели-

ко. Основную часть гидрографической сети составляют водотоки, существующие лишь в сезон дождей и прекращающие сток после него, которые называются «вади». Их можно разделить на вади с длительным присутствием стока воды (до 8 – 10 месяцев) и имеющие сток всего 1 – 2 месяца только в самые многоводные по количеству осадков годы. В такие годы происходит наибольшее пополнение горизонтов подземных вод и водохранилищ, образуются заболоченные участки в замкнутых понижениях поверхности водосбора.

Наиболее известной в мире рекой, находящейся на рассматриваемой территории, является р. Иордан, впадающая в Мертвое море. Длина реки составляет 160 км. Ее исток находится на высоте 3000 м над уровнем моря. Длина Мертвого моря составляет около 80 км, а максимальная ширина достигает 10 км.

Помимо р. Иордан и двух ее притоков имеется еще несколько рек с постоянным стоком на севере горной гряды в бассейнах рек Оронто, Антиливан, Барада, Аувадж и Алхаса. Все реки с постоянным стоком имеют свои истоки на западных склонах горной гряды. Реки восточных склонов являются временными водотоками в период появления стока, теряющими свои воды при выходе на равнину полупустыни.

На плоскогорьях сток в вади образуется в период максимального выпадения осадков.

Продолжительный сток воды наблюдается в тех вади, которые имеют родники как в истоках, так и в их руслах или на притоках. Например, на юго-западе Сирии протекает р. Барада, воды которой использует г. Дамаск. Она имеет исток на восточных склонах горного массива Атиливана (Джабаль Шир Мансур). Вода в верхней части русла появляется лишь в зимне-весенний период при таянии снега в горах и выпадения дождей. При выходе в долину Забадани река принимает воды нескольких родников с суммарным дебитом около $1 \text{ м}^3/\text{с}$. В период ливневых дождей расход реки достигает $5 \text{ м}^3/\text{с}$ и более. Однако в меженный период сток полностью прекращается. Но в юго-западной части долины ниже по течению реки имеется небольшое озеро, существующее постоянно вследствие выклинивающегося на дне озера родника. Поэтому из озера вытекает водоток, действующий в течение всего года и составляющий основную долю стока р. Барада. Далее по руслу имеются еще родники, а также многочисленные вади, дающие приток воды в русло в период сильных дождей. Дебит родников может составлять несколько кубометров в секунду. Так, среднемноголетний дебит родника Айн Эль-Фидже составляет около $8 \text{ м}^3/\text{с}$ и его вода используется для водоснабжения г. Дамаска. В русле р. Барада имеется водохранилище с часовым регулированием стока, построены каналы для орошения. В конечном счете, весь сток реки разбирается на орошение, а также теряется на фильтрацию и испарение.

Оценка водных ресурсов исследуемой территории является весьма сложной задачей, поскольку она связана с необходимостью учета резкой неравномерности распределения поступления влаги как во времени, так и по территории,

а также с необходимостью учета интенсивного использования воды для сельского хозяйства, населения и промышленности.

Речной сток целесообразно разделить на три категории: наибольший (оцениваемый по максимальным расходам всех водотоков), средний (оцениваемый за период наличия стока) и минимальный.

Основную роль в формировании наибольшего стока играют дожди, выпадающие в декабре – феврале. Снеговые и подземные воды имеют меньшее значение. В феврале – марте формируются максимальные расходы воды в реках и в 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 первой полугодии следующего. По аналогии с Россией, в которой зимний меженный период начинается в конце осени – начале зимы и заканчивается весной следующего года, то есть реки России и Ближнего Востока находятся в антифазе.

Минимальный сток целесообразно оценивать по стоку рек и родников в летний период.

Большие значения при оценке водных ресурсов имеют подземные воды, которые интенсивно используются для хозяйственных нужд путем бурения большого числа скважин. Это ведет к снижению уровня подземных вод и уменьшению подземного питания рек и вади, особенно в маловодные годы, что сказывается на средней многолетней величине расхода воды и его изменчивости во времени.

Особенностью гидрографической сети рассматриваемой территории, 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, но одновременно увеличивается время добегающей образующейся на водосборе воды до замыкающего створа. Поэтому водный режим водотоков характеризуется наличием одиночных дождевых паводков на малых водосборах, которые с увеличением водосбора постепенно, но быстро, начинают формировать паводочную волну, на фоне которой появляются частные паводки от наиболее интенсивных дождей.

В период формирования паводков в русла рек и вади поступают воды суходолов, которые находятся в основном в нижних частях водосборов и имеют сток лишь в период интенсивных ливней.

В естественном водном режиме водотоков Ближнего Востока можно выделить три зоны: зона формирования стока, зона транзита и зона рассеивания стока.

Постоянные реки, имеющие устья (р. Иордан и др.), 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 инфильтрации в ложе русла. Этому способствуют и водозаборы, происходящие в зоне транзита, а также увеличение потерь на испарение при переходе водотока в полупустынную зону или при наличии водохранилищ.

Зона формирования стока располагается в горной местности на высотах в основном от 800 м. 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 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 течение 1–2 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 происходит потеря воды из русла водотока. В зоне рассеивания стока уменьшение расходов воды может составлять 0,2–0,3 м³/с на 1 км длины водотока.

Таким образом, сток постоянно текущих рек содержит воды, образующиеся в сезон дождей на поверхности водосбора и попадающие в суходолы и вади, а через них – в основное русло реки, почвенно-грунтовые воды и воды верхнего подземного горизонта, а также глубокие подземные воды. Воды вади содержат поверхностные воды и воды неглубоких подземных горизонтов, выклинивающиеся обычно в их русло. Воды суходолов и коротко живущих вади содержат лишь дождевые воды в сезон дождей и некоторое время после них.

В целом речной сток может быть представлен в следующем виде:

$$h = h_{пв} + h_p + h_{пз} = h_b + h_c + h_{pc} + h_p + h_{пз},$$

где h – слой стока реки; $h_{пв}$ – слой поверхностного стока; h_p – родниковый сток; $h_{пз}$ – подземный сток.

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

Необходимо отметить, что сток суходолов показывает поверхностную составляющую общего речного стока, а сток вади может содержать и подземную при наличии родников в русле вади. Показателем возможности существования родников может служить продолжительность наличия стока в вади. Чем больше продолжительность периода стока, тем больше доля подземных вод в питании вади.

Выделение трех типов водотоков на рассматриваемой территории обуславливает различие в оценке стока воды неизученных рек. Сток средних рек обычно определяется по карте изолиний модуля или слоя стока, а малых – по эмпирическим зависимостям, в которых основными параметрами являются площадь водосбора, а также осадки, выпадающие на водосбор.

Карты изолиний стока хорошо отражают климатическую зональность изменения стока на равнинной территории. В горных районах на величину осадков и стока большое влияние оказывает высота водосбора и экспозиция склонов по отношению к влагоносным ветрам, что особенно сильно проявляется на рассматриваемой территории. К тому же распределение осадков в горах более пестрое, чем на равнине. Поэтому при определении стока необходимо учитывать среднюю высоту водосбора, преобладающую экспозицию склонов и гидрогеологическое строение бассейна. Это можно учесть при выделении районов относительно однородных по условиям формирования стока. В этом случае определение стока можно осуществлять по эмпирическим зависимостям, связывающим сток не только с осадками, но и с площадью и высотой водосбора, а физико-географические особенности района будут учитываться районными значениями параметров и коэффициентов. При этом главный водораздел рассматриваемой горной системы будет проходить по ее наиболее высоким отметкам, разделяя районы с разной степенью увлажнения.

Удельное питание водотоков (модуль стока) будет наибольшим в высокогорных районах и наименьшим в предгорьях и особенно при выходе на равнину. Общее уравнение имеет вид:

$$q = aP + bH_{cp} + dA + C ,$$

где q – среднееголетний модуль стока; P – среднееголетние осадки; H_{cp} – средняя высота водосбора; A – площадь водосбора; a, b, d – районные параметры.

В высокогорных районах наибольший вклад в это уравнение вносят осадки. В среднегорных районах не меньший вклад делает высота водосбора. В предгорьях на первое место выходит площадь водосбора, с которой собирается вода как поверхностная, так и подземная. К сожалению, основное количество гидрометеорологических данных имеется в низкогорных районах. Поэтому анализировались связи модуля стока водотоков с осадками и средней высотой водосбо-

ра от 800 – 1000 м и более. Для районов с меньшими высотами исследовалась связь вида $Q = f(A)$. Рассматривалась зависимость максимальных среднесуточных расходов воды от площади водосбора и средних расходов за период наличия стока вади. В первом случае эта связь описывалась уравнением $Q_{\max} = dA^n$ при $n < 1$.

Для средних расходов она несколько меняется, поскольку в период действия вади начинают отключаться суходолы, работавшие при формировании максимального стока. Поэтому уравнение будет иметь вид $Q_{\text{cp}} = d(A - A_1)^n$ при $n < 1$, а A_1 – площадь с отсутствием стока.

Минимальный сток наблюдается только на реках с постоянным стоком, которых имеется всего несколько на всей обширной территории. Эти реки интенсивно используются, и в маловодные годы они могут иссякнуть задолго до устья.

Литература

1. *Аль Мурейш Халед Абдо Саид Али, Фрумун Г.Т.* Водобеспечение в республике Йемен: современное состояние и направление совершенствования. – СПб., 2008. – 31 с.
2. *Атва Халиль Аль-Рахман Ахмад.* О распределении осадков по аридной территории ближнего востока // Сб. трудов конференции в рамках III международного полярного года. – СПб.: изд. РГГМУ, 2008, с. 129–131.
3. *Владимиров А.М., Атва Халиль Аль-Рахман Ахмад.* Оценка водного баланса аридных территорий. – В сб.: Естественные и технические науки. – М., 2009, с. 172–174.