

М.А. Великанов

Водный баланс суши

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 55
ББК 26.3
М11

М11 **М.А. Великанов**
Водный баланс суши / М.А. Великанов – М.: Книга по Требованию, 2021. – 181 с.

ISBN 978-5-458-59734-0

ISBN 978-5-458-59734-0

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

вающие данные о методах расчета помощью различных эмпирических формул можно найти в книгах, посвященных специально гидрологическим расчетам; этой цели настоящая книга не преследует, а потому и примеров в ней сравнительно мало.

Мы уделили в этой книге сравнительно много места изложению теории кривых распределения в применении к стоку. Дело в том, что кривые распределения в гидрологии в настоящее время имеют весьма широкое распространение, но далеко не всегда научный уровень этого применения стоит на должной высоте, что иногда объясняется недостаточным четким пониманием сущности кривых распределения, и в частности той кривой Пирсона III рода, которой почти исключительно и пользуются в практике. Эта кривая несомненно имеет очень большое значение, и последними работами Г. Н. Бровковича выясняется, что она для положительного аргумента является чем-то в роде «аналога» Гауссовской кривой, выводимой для аргумента, изменяющегося как в положительную, так и в отрицательную сторону. Иными словами, кривая Пирсона III рода должна быть принята как исходная для построения остальных кривых; но сама по себе она далеко не всегда удовлетворяет условию соответствия эмпирическим совокупностям и требует перехода к расширенному типу кривых, совершенно так же, как от Гауссовской кривой нормального распределения мы переходим к расширенному типу Шарлье — Брунса. Все это изложено нами в V главе этой книги, причем мы стремились сделать изложение возможно более элементарным, имея в виду ограниченность математического фундамента студентов вузов.

Большое внимание в этой книге уделено также вопросам формирования паводков как ливневых, так и снеговых, хотя в данном случае состояние теории пока еще недостаточно для удовлетворения практических потребностей, и практики пока еще вынуждены базироваться на сравнительно грубых эмпирических формулах. Но мы считаем, что данная книга должна не только сообщить читателю уже законченные научные результаты в виде рецептов для практических расчетов, но и показать, в каком направлении нужно работать д а л ь ш е. Мы даже считаем второй момент более важным, чем первый, поскольку гидрология должна именно сейчас наиболее интенсивно развиваться в строго научном направлении для того, чтобы быть в состоянии хотя бы через некоторый промежуток времени лучше удовлетворять всем растущим потребностям грандиозного водохозяйственного строительства СССР.

При составлении этой книги мы пользовались материалами не только опубликованных научных работ, но и работами, находящимися еще в стадии подготовки к печати. Все авторы, данными которых мы пользовались, указаны в соответственных местах, и здесь я считаю своим долгом всем им выразить мою глубокую признательность.

ВВЕДЕНИЕ

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Комплекс вопросов, относящихся к влагообороту поверхности земного шара и отдельных частей этой поверхности, является несомненно одним из важнейших в гидрологии. Этот комплекс мы обозначаем термином **водный баланс**, основываясь на том, что при анализе влагооборота мы широко пользуемся балансовым методом. Метод этот в самом общем виде основан на следующем очевидном равенстве: для любого объема пространства, ограниченного некоторой произвольной поверхностью, для всякой неуничтожимой субстанции количество ее, вошедшее внутрь этого объема за вычетом количества, вышедшего наружу, должно равняться увеличению (или соответственно уменьшению) количества ее внутри данного объема. Это равенство справедливо для любого промежутка времени и для любой произвольно взятой замкнутой поверхности. Таким образом, мы можем строить водный баланс для любой части земной поверхности, в соответствии с теми или иными практическими, или теоретическими, интересами.

В настоящее время грандиозные водохозяйственные перспективы СССР заставляют нас широко пользоваться этим методом не только для анализа бытовых условий речных бассейнов, озер, внутренних морей и пр., но и подойти вплотную к проектированию водного баланса, иными словами — к расчету тех изменений во взаимоотношении между отдельными его слагаемыми, которые дают возможность наилучшим образом использовать водные ресурсы для целей энергетики, ирригации, судоходства и водоснабжения. Достаточно указать на комплексную проблему Большой Волги и Каспийского моря, которая в конечном счете сводится к довольно значительному изменению отдельных компонентов водного баланса этого огромного водоема. В настоящее время уровень Каспийского моря постепенно понижается, что связано главным образом с уменьшением стока реки Волги, а это последнее, согласно имеющимся в настоящее время данным, повидимому, объясняется не только уменьшением осадков и повышением температуры за последние годы, но отчасти и переходом к более интенсивным формам земледелия и более рациональной запашке земель, вследствие чего испарение с земельных площадей, а также просачивание возрастают, а поверхностный сток уменьшается.

Для постановки проблемы водного баланса в таком разрезе нам необходимо очевидно не только изучать гидрологические явления, происходящие в настоящее время на поверхности земли, но и давать им физический анализ, т. е. выяснять физическую зависимость между отдельными факторами в любых искусственных, а не только естественных условиях.

Методом водного баланса в настоящее время мы пользуемся главным образом для расчетов речного стока, и здесь, конечно, он имеет наибольшее применение. Но все же несомненно, что его задача гораздо шире и захватывает, как мы уже показали на примере Каспийского моря, целый ряд других водохозяйственных вопросов. Составными

элементами водного баланса в самом общем случае являются следующие. Во-первых, выпадающие атмосферные осадки, а также конденсация, т. е. выделение влаги непосредственно в местах соприкосновения атмосферы с почвой; конденсация на самой поверхности в большинстве случаев количественно невелика, но конденсация внутри почвы может достигать довольно больших размеров и играть существенную роль при подсчете водного баланса. Далее идет испарение: 1) с поверхности воды, снега и льда, 2) с почвы, причем как с поверхности ее, так и на глубине и 3) особый вид биологического испарения: транспирация растительного покрова.

Далее идет просачивание воды в почву, в большинстве случаев направленное сверху вниз, но иногда идущее в обратном направлении: капиллярное поднятие воды в грунтах. Затем сток трех видов: 1) русловой (или речной) 2) склоновый и 3) подземный (или грунтовый).

Все перечисленные виды перемещения водных масс для некоторого произвольно взятого объема могут сбалансироваться лишь при условии добавления к ним изменения запаса воды внутри этого объема. Это изменение может быть следующих видов: изменение объема водоемов (реки, озера), вследствие повышения или понижения уровня в них; изменение запасов грунтовых вод или почвенной влаги в капиллярном, пленочном или парообразном виде; и, наконец, накопление снегового покрова на поверхности земли или расходование этого покрова в период снеготаяния. Совместный учет всех перечисленных факторов дает нам возможность построить в самом общем виде уравнение водного баланса, что мы и сделаем в дальнейшем.

Вначале приведем некоторые общие данные о водном балансе земного шара в целом — вопрос, к которому в дальнейшем мы возвращаться не будем, поскольку предлагаемый курс трактует в основном лишь о водном балансе материка и отдельных его частей.

Подсчет водного баланса земного шара производился целым рядом ученых, причем полученные ими цифры иногда довольно значительно расходятся между собой.

В сводной работе А. В. Вознесенского после критического анализа всех этих работ даются наиболее вероятные цифры, базирующиеся главным образом на исследованиях Мейнардуса.

Общая сумма атмосферных осадков, выпадающих в среднем за год на поверхности всего земного шара, принимается в $511\,000\text{ км}^3$. Из них на материк относится 19%, или $99\,500\text{ км}^3$, а на океан 81%, или $411\,600\text{ км}^3$. Поскольку для всей поверхности земного шара уравнение водного баланса сводится к простому равенству осадков и испарения, то очевидно, что общая цифра испарения с суммарной поверхности океана и материков составляет те же $511\,000\text{ км}^3$.

Но если мы дадим водный баланс в отдельности для океана и для суши, то балансовое уравнение несколько усложняется: для океана суммарное испарение должно равняться осадкам плюс речной сток, а для суши осадки должны равняться испарению плюс речной сток. Полученная в результате цифра суммарного речного стока (относящегося, очевидно, лишь к рекам, впадающим в океан) равняется $37\,100\text{ км}^3$ в год.

По поводу суммарного стока необходимо отметить некоторые разногласия между Мейнардусом и Халбфассом: последний считал, что помимо речного стока в океан подаются большие массы воды грунтовыми потоками.

Вопрос этот остается в известной степени открытым, хотя отрицательное отношение к этому положению со стороны Мейнардуса в настоящее время считается более правильным.

Все воды материков получают ими несомненно из океана благодаря переносу части испарения с поверхности океана на материк. Этот

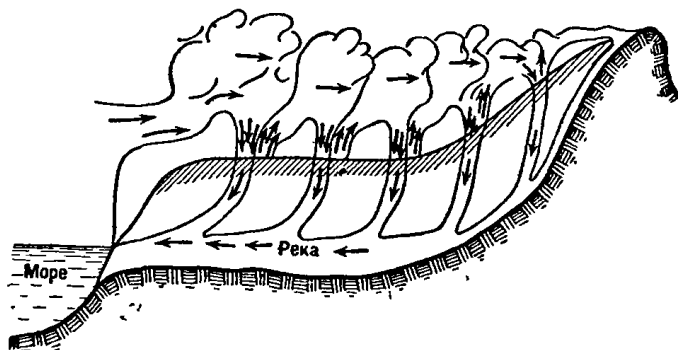


Рис. 1. Схема внутриматерикового влагообмена.

которого была дана И. И. Касаткиным, и в эскизной форме изображена на рис. 1.

Сущность этой схемы заключается в следующем. Переносимая ветрами влага частью выпадает на поверхности, частью относится дальше вглубь материка. Из выпадающей влаги часть испаряется обратно и также переносится дальше в направлении господствующих влагоносных ветров, другая же часть стекает обратно в море речным потоком. Эту последнюю воду И. И. Касаткин называет «отработавшей» водой, поскольку для увлажнения материка она уже потеряна. Влагу же, переносимую дальше, он называет «активной» влагой. В состав ее входит прежде всего парообразование воды, содержащейся в нижних слоях воздуха, далее вода в верхних слоях почвы, в пределах корневой системы растительного покрова, в тканях растений и животных, в верхних слоях внутренних водоемов и верхнем слое снега. Вся эта вода может испаряться обратно и произвести вторичное увлажнение материка на дальнейшем пути влагоносных ветров. Отсюда по И. И. Касаткину следует, что чем более оживленным является внутренний влагооборот материка, т. е. чем большее число оборотов вода успевает сделать, тем большую пользу она приносит для человека. Поднятие земледельческой производительности неразрывно связано с искусственным усилением этого внутреннего влагооборота, так как вода, потребляемая растительным покровом и необходимая для жизни растения, почти полностью испаряется им обратно в атмосферу, а в тканях растений задерживается лишь 2—3 тысячных всего потребляемого растением количества воды. Иными словами, одно и то же количество воды может произвести многократную полезную работу. Но для этого необходимо принять все меры для уменьшения стекания воды в реки и для увеличения испарения. Эта крупная задача, поставленная И. И. Касаткиным, несомненно имеет огромное будущее, и мы уже упомянули, что целый ряд агротехнических мероприятий даже в настоящее время привел к некоторому уменьшению стока в реки за счет повышения урожайности сельскохозяйственных площадей. Во всяком случае эта задача относится к числу тех, которые должны разрешаться методом водного баланса.

перенос в количественном отношении для всего земного шара не так велик, но именно он-то и обуславливает собой все орошение материков, а, следовательно, и все развитие жизни на них. Этот перенос влаги с моря на сушу создает на последней специфичный

внутренний влагооборот, общая схема

2. ОБЩЕЕ УРАВНЕНИЕ ВОДНОГО БАЛАНСА

Для построения уравнения водного баланса в самом общем виде мы должны задаться некоторой определенной контрольной поверхностью, которую, исходя из чисто практических соображений, мы проводим следующим образом. Мы очерчиваем на местности контур, охватывающий интересующую нас область; через этот контур мы мысленно проводим вертикальную цилиндрическую поверхность, которая и будет боковой поверхностью выделяемого нами объема. Верхнюю границу мы проводим непосредственно выше поверхности земли, исходя из тех соображений, что количество влаги, находящейся в самой атмосфере, нас при трактовке вопроса не интересует; этот вопрос относится к смежной науке — метеорологии. Нижнюю ограничивающую поверхность мы проводим на некоторой глубине, определяемой каждый раз стоящей перед нами практической задачей: в одних случаях на большей глубине, в других — непосредственно ниже поверхности.

Для выделенного, таким образом, нашей контрольной поверхностью объема мы составим равенство, в котором все приходные части водного баланса будут представлены со знаком плюс, расходные со знаком минус, а изменение запаса воды внутри объема может иметь или тот, или другой знак. К приходной части мы относим: осадки, конденсацию, вертикальное просачивание в том случае, если оно направлено снизу вверх (капиллярное поднятие), русловой поверхностный сток, направленный внутрь нашей поверхности и, наконец, боковое просачивание, или грунтовой приток также, если он направлен внутрь. К расходной части мы относим: испарение, просачивание, а также русловой и поверхностный сток, направленные наружу. И, наконец, как уже было сказано, мы должны добавить изменение (с плюсом или с минусом) запаса воды внутри нашего объема.

Из перечисленных факторов некоторые, как например, осадки, испарение, вертикальная фильтрация, изменение запасов воды, мы можем сразу же представить в виде слоя некоторой высоты, отнесенного к единице времени. Боковой, или периферийный, приток нам удобнее отнести к единице длины контура (и также к единице времени). Наконец, русловой сток мы будем измерять кубическими единицами в единицу времени, т. е. именно так, как это обычно дается в результате гидрометрических измерений. Первые факторы войдут в уравнение в виде интегралов вида

$$\int_{t_1}^{t_2} dt \int_{(\Omega)} a d\omega,$$

вторые представляются интегралами вида

$$\int_{t_1}^{t_2} dt \int_{(S)} b ds$$

и третьи, соответственно, интегралами вида

$$\int_{t_1}^{t_2} Q, dt$$

(поставленные под знаками интегралов символы «а» и «б» могут относиться соответственно к любому из перечисленных факторов; индекс J дает порядковый номер реки).

Далее мы делим все перечисленные величины, выраженные, очевидно, в объемах воды, на площадь, ограниченную нашим контуром, и на принятый нами интервал времени $(t_2 - t_1)$. После этого вводим обозначения:

x — осадки и конденсация,
 z — испарение,
 y_j — сток j -го водотока,
 i — просачивание через нижнюю ограничивающую поверхность на квадратную единицу,

w — просачивание через боковую поверхность на единицу длины контура,

u — изменение запаса воды внутри контрольной поверхности.

В результате мы получаем следующее равенство

$$x = \sum y_j + z + i + u + w \quad (1)$$

В этом равенстве величины x , z всегда существенно положительны. i — большей частью положительна (исключая случай капиллярного поднятия), остальные три члена $\sum y_j$, u и w могут быть как положительными, так и отрицательными.

3. ЧАСТНЫЕ ПРИМЕРЫ

Рассмотрим несколько частных, наиболее интересных в практическом отношении, случаев.

Прежде всего представим себе, что наш контур не является произвольным, а проводится по водораздельной линии некоторой реки, пересекая ее по некоторому замыкающему створу. В таком случае вместо суммы $\sum y_j$ мы будем иметь один член y . Далее представим себе, что нижняя ограничивающая поверхность проведена нами на глубине водонепроницаемого пласта. В таком случае вертикальная фильтрация через нижнюю поверхность выпадает, и уравнение водного баланса для этого случая напишется в виде

$$x = y + z + u + w \quad (2)$$

В этом равенстве величины x , z всегда существенно положительны. Никаких ограничений на интервал времени $(t_2 - t_1)$ мы пока не накладываем. Член u включает в себя: изменение объема воды в реках и озерах бассейна, изменение объема воды в лежащем на поверхности бассейна снеговом покрове (если таковой имеется) и, наконец, изменение запасов воды в почве.

Теперь наложим некоторое ограничение и на интервал времени: возьмем «гидрологический» год, определяемый таким образом, чтобы все периоды большого накопления и большого расходования воды находились внутри этого периода; весь период накопления снега и весь период снеготаяния и половодья, весь период интенсивных дождей и по возможности весь период стока этих дождевых вод. Удовлетворить полностью этим требованиям, очевидно, невозможно, но

приближенно можно для каждого заданных климатических условий назначить такие даты начала и конца года, при которых это требование более или менее выполняется. Например в условиях равнинной европейской части СССР срок 1 октября является более, или менее, приемлемым; хотя на севере его следовало бы взять несколько раньше, а на юге несколько позже, но практически весьма неудобно давать слишком большую вариацию гидрологических годов в пределах одной и той же территории. При таком ограничении приведенное уравнение хотя формально и сохраняет свой вид, но член u будет включать в себя уже только изменение запасов грунтовых вод. Это изменение в разные годы будет то положительным, то отрицательным: в годы избыточного увлажнения осадками уровень грунтовых вод к концу года будет повышаться, в более сухие же годы часть грунтовых запасов будет стекать в реку и уровень их будет понижаться. Нетрудно видеть, что если мы полученное уравнение отнесем к последовательному ряду большого числа лет, то среднее значение члена u будет очень мало отличаться от нуля (теоретически оно должно стремиться к нулю для бесконечно длинного периода времени), и наше уравнение примет следующий еще более простой вид:

$$x = y + z + w$$

Далее следует отметить, что член w , выражающий величину периферийного притока воды в бассейн, или оттока из него, деленный на площадь бассейна, может быть значительным только для сравнительно малых бассейнов: поскольку сам приток (или отток) при прочих равных условиях растет с длиной водораздельной линии, т. е. с первой степенью размера бассейна, а площадь бассейна, на которую делится эта величина, растет с квадратом длины, то очевидно периферийный сток, отнесенный к площади бассейна, т. е. член w , будет убывать с размерами бассейна. Для бассейнов не очень малых мы можем этим членом пренебречь, и уравнение напишется в еще более простом виде:

$$x = y + z.$$

Для бессточного озера член y , очевидно, выпадает, и уравнение напишется в виде:

$$x = z + u + w,$$

а для многолетнего периода ($u = 0$) и для достаточно большого бассейна ($w = 0$), мы получим простое равенство.

$$x = z.$$

Рассмотрим в виде примера ливневой сток. Поскольку здесь нас интересует количество выпавшей воды за время ливня, с одной стороны, и количество воды, стекающей непосредственно после ливня, с другой, то за период времени мы возьмем: начало ливня — конец ливневого стока. Нижнюю часть контрольной поверхности мы проведем теперь непосредственно ниже поверхности земли на очень малом от нее расстоянии, для того, чтобы не вводить в рассмотрение не интересующий нас в данном случае фактор изменения запаса грунтовых вод. Кроме того за краткий период ливня и прохода ливневой волны величина испарения будет несомненно ничтожно мала, и мы можем ею пренебречь. Тогда уравнение напишется в виде:

$$x = y + i.$$

В виде второго примера возьмем снеговое половодье. Период времени назначаем: начало снеготаяния — конец половодья. Нижнюю, ограничивающую, поверхность проведем так же, как в предыдущем примере, непосредственно ниже поверхности земли. Уравнение напишется теперь в виде:

$$x = y + i + z + u.$$

При этом, очевидно, последний член u будет существенно отрицательным, поскольку в начале расчетного периода был снеговой покров, а в конце его уже не было. Перенеся этот существенно отрицательный член в левую часть равенства, мы перепишем последнее в следующем виде:

$$x + |u| = y + z + i.$$

Во многих случаях член x , выражающий осадки, выпавшие за время снеготаяния и половодья, оказывается очень малым по сравнению с членом u и может быть также отброшен. Тогда получим равенство:

$$|u| = y + z + i,$$

которое выражает собой, что объем запаса воды в снеге к началу снеготаяния равняется объему весеннего половодья плюс испарение за период снеготаяния и половодья и плюс потери воды на фильтрацию в почве.

4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ И СЛУЧАЙНОСТИ В ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЯХ

Изучая какое-либо физическое явление, мы ищем закономерную связь между отдельными факторами, влияющими на данное явление или характеризующими его. Если мы знаем все эти факторы, то принципиально мы можем, путем последовательного исключения некоторых из них, найти искомую зависимость и, в конце концов, выразить ее в форме математического уравнения. Но дело в том, что всю совокупность влияющих факторов мы учесть никогда не можем. Мы можем лишь выделить те из них, влияние которых особенно сильно, и — в самом общем случае — остается еще совокупность иногда чрезвычайно большого числа факторов, из которых каждый влияет в ничтожной степени, и та или иная комбинация из них в тот или иной момент времени и в тех или иных обстоятельствах дает нам в результате отклонение изучаемой величины в ту или иную сторону, отклонение, которое мы называем с л у ч а й н ы м.

Возьмем простейший случай падения твердого тела; оно обуславливается главным образом силой тяжести, влияние которой нам хорошо известно. Далее идет влияние сопротивления воздуха, которое мы суммарно тоже можем, хотя бы приближенно, учесть. Но затем идет огромное число ничтожных факторов, учесть которые мы уже абсолютно не в состоянии: плотность воздуха в разных местах на пути падения тела может в каждый данный момент быть различной и изменяться под влиянием целого ряда случайных причин, влияя в конечном счете на величину сопротивления. Если мы нашли закономерность между какими-либо двумя измеренными нами величинами и выразили ее математическим уравнением, то далее, после уточнения наших изме-

рительных приборов, мы оказываемся перед фактом, что обе эти величины подвергаются случайным отклонениям, или, что при заданном значении одной, значения другой будут многочисленными, хотя и будут группироваться около некоторого среднего значения. В случае строгой закономерности каждая физическая величина в известных определенных условиях имела бы одно, и только одно, значение; зависимость между двумя величинами, влияющими друг на друга, выражалась бы строгим математическим уравнением. В действительности каждая величина принимает бесчисленное количество значений, отклонения которых от среднего являются случайными, а связь между двумя величинами является не функциональной, как в предыдущем случае, а стохастической. Под стохастической связью мы разумеем такую, когда значение одной из величин определяет собой не единичное значение другой, а целую совокупность их, с различной степенью вероятности. Таким образом, понятие вероятности является основным и определяющим в области случайных явлений.

«Мы обычно не высказываем на улицу из окна, но предпочитаем спуститься по лестнице, хотя и здесь можем упасть и разбиться насмерть, между тем, как прыжок из окна не всегда смертелен»¹.

Автор хочет здесь сказать, что в нашей повседневной жизни мы постоянно сознательно, или бессознательно, руководимся ощущением того, где вероятность больше, и где она меньше. Если бы мы в своих поступках руководились только достоверностью и закономерностью, то никогда ни на один поступок мы бы не могли решиться, так как достоверности в полном смысле слова никогда не бывает.

В физике, особенно там, где изучается явление в лабораторных, искусственно создаваемых, условиях, когда мы имеем возможность исключить влияние на это явление целого ряда не интересующих нас факторов и рассматривать его, так сказать, в чистом виде, даже в этом случае мы не можем избавиться от влияния случайных отклонений, зависящих от неучитываемых нами обычно многочисленных факторов. Если же мы из лаборатории выходим в условия природы, как это имеет место в гидрологии, то тут влияние случайных факторов чрезвычайно сильно возрастает. Для примера рассмотрим сначала явление испарения.

Даже основной процесс испарения, как перескакивание отдельных молекул из поверхностного слоя жидкости в атмосферу, уже представляет собой явление в значительной степени случайное, но поскольку этих молекул много и таких перескакиваний в единицу времени происходит огромное количество, то в среднем в промежуток времени даже нескольких секунд мы получим определенное значение для скорости испарения. Но это только в том случае, когда воздух над испаряющей поверхностью совершенно неподвижен, что может быть достигнуто разве только в лабораторных условиях. В естественных же условиях состояние атмосферы подвержено непрерывным возмущениям как термического, так и особенно гидродинамического характера: явление турбулентности само по себе уже представляет совокупность быстро изменяющихся случайных направлений скорости в разных частях атмосферы. Эта турбулентность, беспорядочно ускоряя явление диффузии, создает возрастание скорости испарения, возрастание, которое в каждый данный момент в за-

¹ С. Н. Бернштейн. «Теория вероятности»

зависимости от направления случайного вектора скорости будет различным. Для получения определенной закономерной величины мы должны опять-таки и здесь произвести осреднение, но уже за неизмеримо больший промежуток времени, чем для упомянутого выше молекулярного процесса. Если бы мы были в состоянии измерять скорость испарения в какой-нибудь точке естественного водоема через каждую секунду, то несомненно получили бы большие отклонения случайного характера, и только осредняя с помощью нашего измерителя процесс испарения на интервале времени многих часов и на поверхность достаточно больших размеров, мы получим определенную величину и то лишь при условии, если средняя скорость ветра в течение этих нескольких часов была постоянной. То же, и в еще большей степени, относится и к испарению с почвы. Только путем осреднения за достаточно большой промежуток времени мы получим некоторое среднее значение, которое мы в состоянии вводить в наши уравнения.

Переходим к атмосферным осадкам; тут фактор случайности играет уже гораздо более значительную роль. Интенсивность выпадения осадков и их распределение по некоторой площади зависит от формы тучи, распределения в ней ядер конденсации и, наконец, от скорости движения самой тучи. А если к этому добавить, что как форма тучи, так и ее структура быстро меняются во времени, подчиняясь лишь закону случайности, а скорость различных частей тучи также может отличаться друг от друга, то мы ясно увидим, что распределение выпадения осадков и по площади и во времени будет зависеть от столь большого числа факторов, что будет носить чисто случайный характер.

Если мы будем наблюдать выпадение осадков за длительный промежуток времени в разных точках изучаемой территории, то мы увидим, что то одна, то другая часть территории оказывается орошенной, то с большей, то с меньшей интенсивностью, причем никакой закономерности мы для этого распределения усмотреть не сможем. Только после осреднения всех этих выпадений за очень большой промежуток времени, когда над данной территорией прошло уже очень большое число дождевых туч, оказывается возможным получить такие средние значения, которые смогут характеризовать данную территорию в отношении осадков.

Далее мы подробно рассмотрим этот вопрос и увидим, что изолинии осадков (изогеты) мы в состоянии с довольно большой достоверностью провести только для многолетнего периода.

Переходя, наконец, к поверхностному стоку, мы будем иметь явление, в еще большей степени имеющее случайный характер, так как ко всем случайностям выпадения осадков добавляется еще совокупность случайно размещенных по территории факторов, влияющих на скорость стекания воды, на потери, на фильтрацию и прочее. В особенности, если мы будем рассматривать очень малый бассейн, то сток в нем будет зависеть от прохождения дождевой тучи над этим бассейном и от массы других факторов, учесть которые мы абсолютно не в состоянии. И только, когда мы переходим, с одной стороны, к бассейнам большой площади, где влияние отдельных топографических условий в среднем сглаживается, и выступает общая топографическая характеристика всего района, и далее, если мы осредняем сток за достаточно большой промежуток времени, то тогда, и только тогда, мы получаем определенное значение стока, которое может быть нами введено в определенную зависимость.