

*А.М. Владимиров*

**ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЕ  
ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ И УРОВНЕЙ ВОДЫ  
ПОЛОВОДЬЯ**

*A.M. Vladimirov*

**THE FACTORS DETERMINING OCCURRENCE  
OF THE HIGH FLOW AND HIGHEST WATER LEVEL DURING  
A FLOOD**

*Систематизированы физико-географические и антропогенные факторы, влияющие на формирование максимальных расходов и уровней воды в период половодья. Рассмотрены условия возникновения катастрофического половодья на реках и озерах. Вскрыта физическая картина формирования стока в речной сети в период половодья.*

*Ключевые слова: максимальный сток, половодье, экстремальный уровень, катастрофическое половодье, физико-географические факторы, антропогенные факторы.*

*The physiographic and anthropogenous factors affecting formation of the high flow and highest water level during a flood are systematized. Conditions of appearance of disastrous floods on the rivers and lakes are considered. The physical pattern of river run-off formation during a flood is produced.*

*Key words: High runoff, flood, extreme level, catastrophic flood, physiographic factors, anthropogenous factors.*

В Северном полушарии период половодья на реках наступает ежегодно в весенний или весенне-летний сезоны и характеризуется интенсивным питанием рек в результате снеготаяния. При этом на большей части рек России, а также на Аляске и в Канаде формируются наибольшие в году расходы воды, достигающие экстремальных значений в особо многоводные годы и вызывающие катастрофические наводнения.

Постоянство появления половодья в бассейне данной реки обуславливает относительную надежность прогнозирования его появления, но не его мощности. Поскольку его объем, продолжительность и, главное, уровень затопления территорий зависит от большого числа факторов.

В целом можно выделить четыре группы факторов, участвующих в формировании половодья: климатические, геоморфологические, растительные, антропогенные. Каждая группа включает несколько факторов, в той или иной степени влияющих на формирование половодья. При этом каждый фактор состоит из нескольких составляющих.

На рис. 1 представлена структурная схема факторов, влияющих на формирование накопления и стекания воды на водосборе реки в период половодья.

Естественно, что основными факторами формирования половодья является группа климатических факторов (рис. 2). В данной группе на первом месте на-

ходятся осадки. Они могут быть твердыми и жидкими. К твердым относятся снегозапасы (переводятся в слой воды в мм), определяемые на водосборе к началу половодья, а также выпадающие в период половодья снег, снежная или ледяная крупа. Последние не имеют существенного значения и могут не учитываться, в то время как выпадающие в период половодья жидкие осадки (дождь, морось) могут формировать дополнительные пики на подъеме и на спаде половодья.

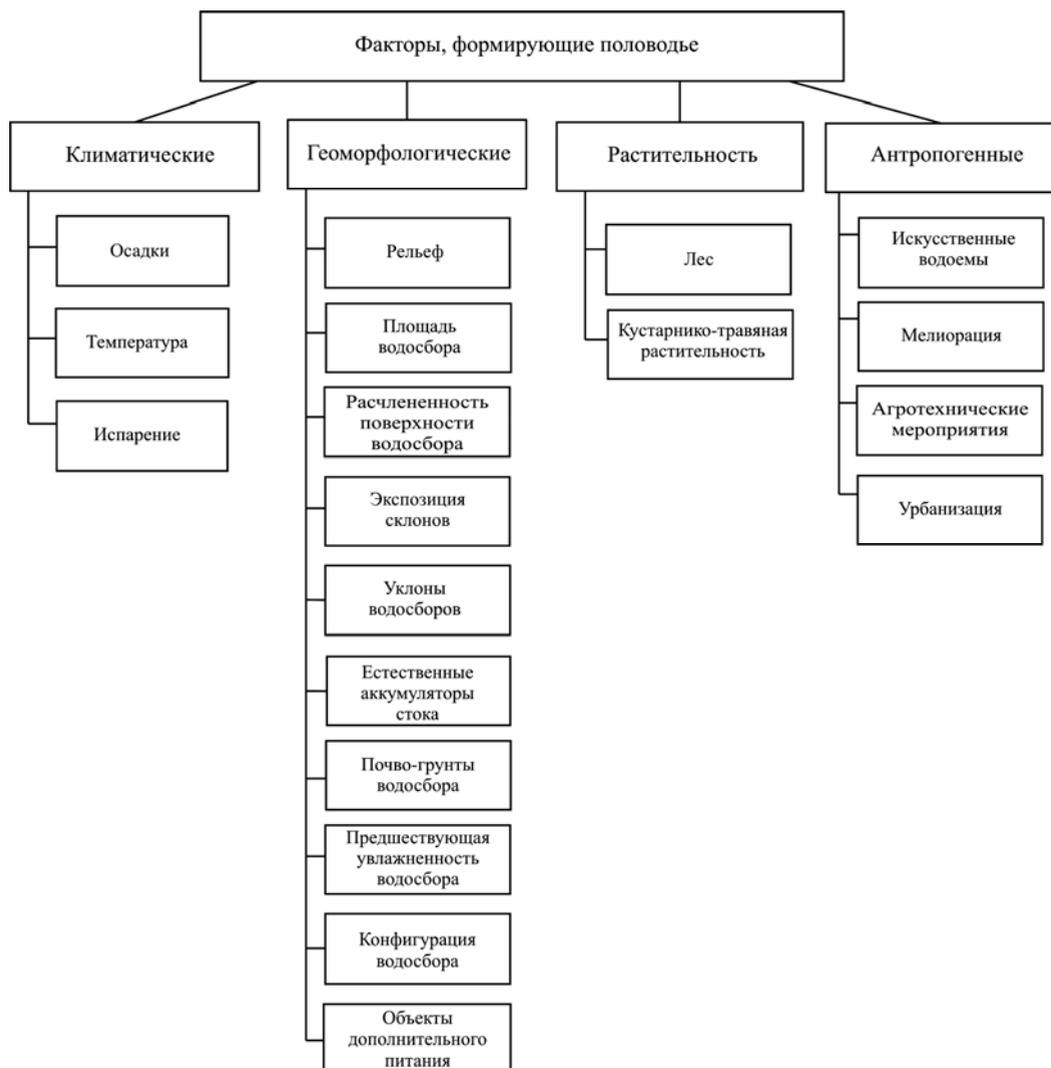


Рис. 1. Структурная схема факторов, определяющих формирование половодья

Вторым наиболее существенным климатическим фактором является температура воздуха. При этом если снегозапасы определяют объем половодья и его максимум, то ход температуры воздуха влияет на интенсивность снеготаяния.

Чем больше сумма положительных температур воздуха за период снеготаяния, тем интенсивнее проходит снеготаяние, тем короче период подъема и быстрее наступает максимум половодья.

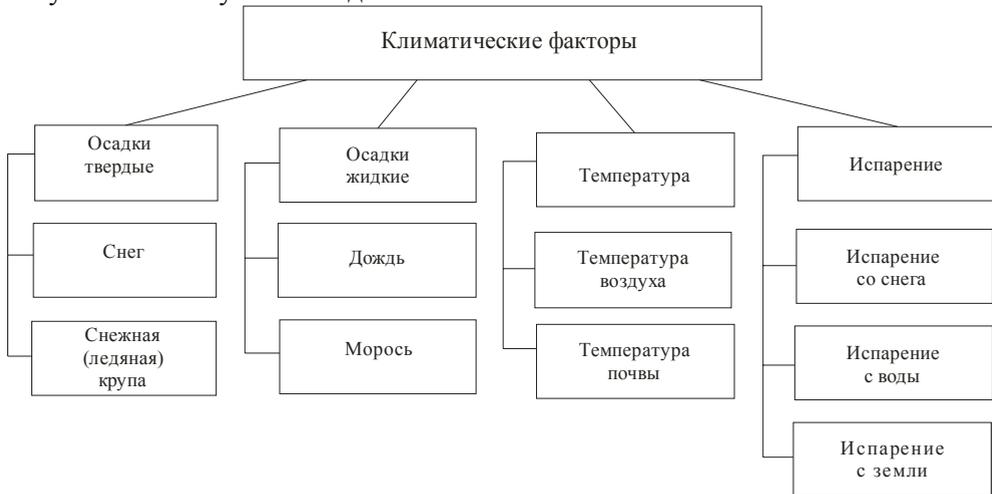


Рис. 2. Составляющие климатических факторов, участвующие в формировании половодья

Осадки и температура воздуха создают пик половодья, его максимальный расход, определяют продолжительность и общий объем половодья.

Температура земной поверхности может иметь двойное значение. В период отрицательных значений температуры замерзшая почва играет роль запирающего слоя, препятствующего инфильтрации образующейся на поверхности водосбора воды, что ведет к увеличению поверхностного стока. В случае же оттаивания или отсутствия промерзания почвогрунтов происходит инфильтрация поверхностных вод, что ведет к снижению поверхностного стока. Следовательно, чем ниже зимние температуры воздуха и почвы и длительнее период их стояния, тем больше глубина промерзания почвогрунтов, тем больше и коэффициент стока в период половодья при прочих равных условиях.

В зимний сезон испарение с поверхности водосбора является наименьшим в году. Однако с началом весны испарение быстро возрастает, а в последней стадии снеготаяния, когда обнажается большая часть поверхности водосбора и появляется открытая вода, потери на испарение становятся наибольшими. Но с образующимся количеством воды на водосборе они не сопоставимы.

Если климатические факторы определяют количество воды, образующейся в результате снеготаяния и выпадения дождей, то геоморфологические факторы в основном трансформируют ее запасы во времени и по территории бассейна реки, определяя потери воды на водосборе и время ее добегания до расчетного створа. Их количество весьма велико и разнообразно (рис. 3).

Общее представление о водосборе дает его рельеф, рассматриваемый как часть географического понятия ландшафта, поскольку с ним связаны изменения

климатических и геологических факторов, характера растительности, почво-грунтов водосбора. Их изменения по большой территории отражаются широтной или вертикальной географической зональностью.

При учете рельефа, как одного из геоморфологических факторов, участвующих в формировании половодья, выделяют равнины, возвышенности и горы. На равнинах существуют низменности и плоскогорья. Последние могут иметь отметки водосборов на 200–300 м выше, чем низменности. Это обуславливает большую расчлененность водосборов и глубину вреза русел рек. Возвышенности обычно характерны для равнинных территорий и по ним проходят границы водосборов рек, что хорошо отражается на картах гидрологических районов.

На возвышенностях существенно возрастают уклоны водосборов, что увеличивает скорость стекания поверхностных вод и уменьшает время их добегания до русловой сети и до замыкающего створа. Однако наибольшие скорости поверхностных вод наблюдаются в горных районах, которые делятся на низкогорные, среднегорные и высокогорные районы. Соответственно с этими районами меняется и количество выпадающих осадков. Наименьшее количество осадков (и преимущественно в твердой фазе) выпадает в высокогорных районах. Их высота превышает 2000–3000 м. К низкогорным обычно относят предгорья, высота которых не превышает 1000 м. С одной стороны, они как бы продолжают равнинный ландшафт, с другой – переходят в горы, образуя среднегорные зоны. Для этих ландшафтов характерно наибольшее количество выпадающих осадков.

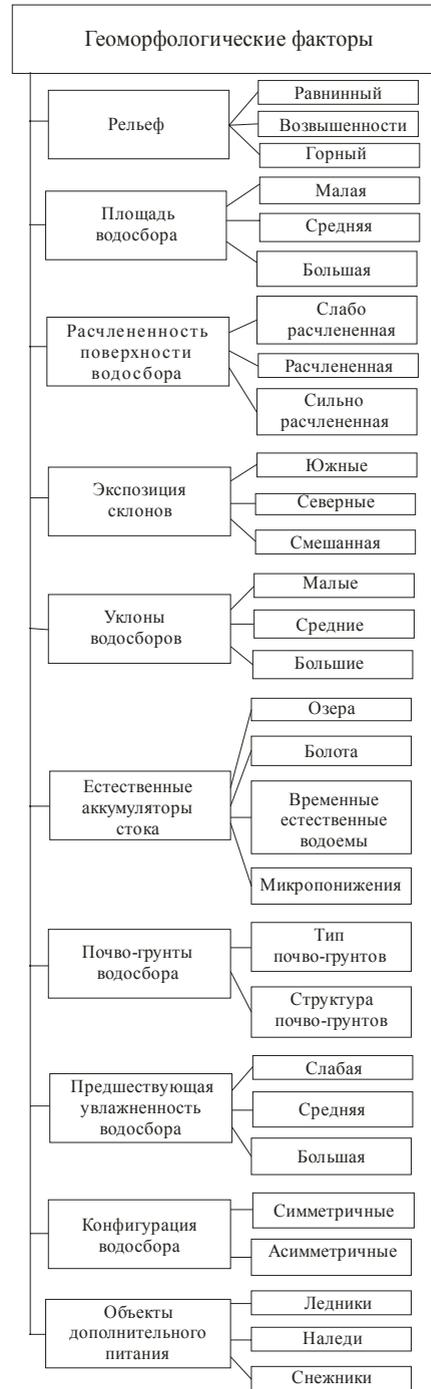


Рис. 3. Составляющие геоморфологических факторов

При наличии на водосборе реки низменности в нижней части и высокогорной зоны в верховьях основное питание река получит в среднегорной и низкогорной зонах. А основные потери от выпавших осадков произойдут в равнинной части водосбора, поскольку там встречается много различного рода понижений, бессточных участков, а также существуют малые уклоны местности. Это обуславливает увеличенные потери поверхностного стока на аккумуляцию и инфильтрацию. Равнинные формы рельефа способствуют формированию относительно невысоких берегов рек, что в период снеготаяния и формирования половодья ведет к разливам рек и затоплению обширных территорий. Наличие низменных территорий благоприятствует длительной задержке воды на поверхности водосбора, что растягивает половодье во времени.

Общим приемником осадков, выпадающих на данную территорию в жидком или твердом виде, является площадь водосбора. В период снеготаяния объем стекающей воды будет зависеть от площади водосборов – чем она больше, тем больше и сток. Однако эта закономерность в ряде случаев нарушается. Так, в некоторых местах сток может уменьшаться вплоть до его исчезновения на отдельных участках. В аридной зоне река может просто постепенно исчезнуть в песках. В горных районах при выходе рек на равнину в зону недостаточного увлажнения также происходит уменьшение стока.

При анализе изменения модуля максимального стока половодья с увеличением площади водосбора для малых реках существует зона неопределенности, когда модуль максимального стока может в одном районе уменьшаться с увеличением площади водосбора, в другом – не меняться, в третьем – может даже увеличиваться. Эта зона площадей не превышает в среднем 100–200 км<sup>2</sup>, но в отдельных случаях достигает 500 км<sup>2</sup>.

На малых водосборах большую роль могут играть отдельные факторы. Например, неравномерность залегания снега, перенос его с открытых поверхностей одного водосбора на соседний залесенный. На водосборах средних рек различие факторов на отдельных малых водосборах нивелируется по общему водосбору. На больших водосборах изменение модуля стока происходит в основном вследствие смены климатических факторов, когда река из одной климатической зоны переходит в другую.

Размер площади водосбора, на которой формируется поверхностный сток, присутствует в большинстве формул для расчета не только максимальных расходов воды половодья, но и других характеристик стока воды в реках. Поэтому площадь водосбора должна рассматриваться как интегральный показатель условий формирования поверхностного стока. Наиболее однообразные условия могут быть на самом малом водосборе, соответствующем бассейну начального стока.

В гидрологических расчетах правильнее было бы использовать не площадь, а объем бассейна. Однако трудности с определением подземных границ бассейна не позволяют применить эти данные.

Поверхность водосбора имеет различную степень расчлененности, что может существенно влиять на распределение снега по водосбору, особенно в степных и лесостепных районах. Водосбор может быть слабо расчлененным и сильно расчлененным. Последний имеет значительное количество логов, балок, оврагов, небольших долин, ручьев, в которых в зимний сезон скапливается большое количество снега, переносимого с открытых, относительно высоких участков (особенно водоразделов). Перед началом снеготаяния глубина снега на открытых участках водосбора может составлять всего 5–10 см, а на пониженных местах достигать 1–2 м. Слабо расчлененные водосборы имеют более равномерное покрытие снегом, а также более равномерное снеготаяние.

С другой стороны, чем более расчленен водосбор, тем быстрее образующаяся от таяния вода добежит до главного русла. В целом расчлененность водосбора может быть оценена коэффициентом густоты гидрографической сети, при этом учитываются все звенья этой сети, включая и первичные морфологические образования.

Немаловажную роль играет экспозиция склонов водосбора. Преобладание южных склонов на водосборе обуславливает более раннее таяние снега и быстрый его сход по сравнению с соседним водосбором, имеющим преимущественно северные склоны. Поэтому максимальный расход воды будет больше, а продолжительность половодья меньше, чем при прочих равных условиях на северных склонах. Естественно, что при наличии склонов разной экспозиции (смешанная экспозиция), при относительно одинаковой доли каждой экспозиции, различие в формировании максимального расхода и продолжительности половодья может возникать от преобладающего типа весны. Наибольшее разнообразие в процессе снеготаяния будет при преобладании солярного снеготаяния при смешанной экспозиции, а наименьшее – при адвективном. Таким образом, экспозиция склонов может оказывать такое же существенное влияние на дружность половодья, как и расчлененность поверхности водосбора, особенно при равнинном ландшафте. Чем больше расчленен водосбор, тем разнообразнее экспозиции склонов и их уклоны. Понятно, что чем больше уклон поверхности водосбора, тем больше скорость течения образующихся от снеготаяния вод. Однако интенсивность снеготаяния на южных склонах будет существенно больше, чем на северных. Поэтому длительная продолжительность снеготаяния на северных склонах обусловит растянутость половодья даже при больших уклонах, чем на южных.

Различие в расчлененности поверхности водосборов, экспозиции склонов на водосборе и между водосборами и отличие в уклонах ведут к тому, что в районах с одинаковыми климатическими условиями наибольшие максимальные расходы воды на соседних водосборах сходного размера наблюдаются в разные годы. Более того, различие может наблюдаться на одной и той же средней реке в верхней и нижней частях водосбора.

Наличие на поверхности водосбора естественных аккумуляторов стока, задерживающих воду (озер, болот и различного рода понижений), способствует снижению максимальных расходов воды в расчетном створе реки и увеличению продолжительности половодья. При этом возрастают и потери воды, образовавшейся в результате снеготаяния, на испарение и инфильтрацию. Объем аккумулярованной воды зависит от объема сливной призмы озера или болота. Однако их определение при отсутствии гидрометрических данных вынуждает использовать при расчетах данные лишь о площади поверхности водного объекта. Временные естественные водоемы и другие микропонижения, возникающие в период снеготаяния, несколько увеличивают потери воды на испарение, но в основном переводят открытую поверхностную воду в почвенную, которая медленно стекает по поверхности водосбора в местную гидрографическую сеть и частично инфильтруется, создавая верховодку и питая подземные водоносные горизонты.

Интенсивность инфильтрации поверхностных вод, образующихся при снеготаянии, зависит от типа почвогрунтов водосбора, их структуры и предшествующего снеготаянию увлажнения, глубины промерзания, наличия многолетней мерзлоты, морозобойных трещин или ледяной корки на поверхности водосбора.

Преобладающий в бассейне реки тип почвогрунтов, точнее их механический состав, структура почв определяют водопоглотительную способность поверхности водосбора, т.е. потери поверхностного стока в период формирования половодья. Наибольшая разница в водопроницаемости существует между супесчаными (песчаными) и суглинистыми (глинистыми) почвогрунтами. При этом большое значение имеет характер преобладающего угодья. Лесные суглинистые почвогрунты имеют водопроницаемость на 20–25 % больше, чем полевые. А на супесчаных эта разница возрастает в 2–2,5 раза. На песчаных почвогрунтах она достигает трех и более раз. Наибольшая разница в водопроницаемости существует между полевыми суглинистыми и лесными песчаными почвогрунтами. Она отличается в среднем в 15 раз. Поэтому при преобладании суглинистых почвогрунтов на водосборе поверхностный сток будет значительно больше, чем на супесчаных и песчаных водосборах при прочих равных условиях.

Бесструктурные или слабоструктурные породы снижают водопроницаемость почвогрунтов и способствуют увеличению поверхностного стока, как и наличие плотных, не пористых и не трещиноватых пород. В районах многолетней мерзлоты роль плотных слабопроницаемых пород играет промерзший грунт.

Появление на поверхности водосбора ледяной корки ведет к резкому увеличению поверхностного стока и скоростей его стекания.

В особо суровые зимы при глубоком промерзании почвы могут образовываться глубокие морозобойные трещины, что способствует снижению коэффициента поверхностного стока.

Однако подготовка водосбора к формированию половодья происходит еще с осени, когда производится осеннее увлажнение бассейна реки. В этом случае

учитывается средняя по бассейну реки влажность почвогрунтов перед началом зимнего сезона.

Чем меньше их влажность (сухая осень), тем больше вероятность увеличения потерь воды при снеготаянии весной, т.е. тем меньше коэффициент стока. При большой влажности почвогрунтов (мокрая осень) потери поверхностного стока в результате инфильтрации будут значительно меньше, чем при сухой осени, т.е. коэффициент поверхностного стока в результате инфильтрации будет большим, что способствует формированию высокого половодья. В районах с оттепелями, происходящими в зимний сезон, средняя по бассейну влажность, зафиксированная в осенний сезон, может значительно изменяться зимой в сторону увеличения, особенно на малых реках.

Таким образом, предшествующую началу половодья увлажненность бассейна можно разделить на три случая: слабая увлажненность (сухой бассейн), средняя увлажненность (что чаще всего наблюдается) и большая увлажненность (что способствует формированию высокого половодья).

Особую роль в увлажненности бассейна играет многолетняя мерзлота. Подземные горизонты льда являются запирающим слоем для попадающей с поверхности воды, а при таянии льдов увеличивают увлажнение почвогрунтов и дают дополнительное питание рекам.

Определенную роль в формировании половодья играет конфигурация водосбора. Прежде всего она влияет на форму гидрографа и его продолжительность. При относительно симметричной форме водосбора, т.е. приблизительно одинаковой форме (и площади) левой и правой частей водосбора, время добегания воды до русла реки будет одинаковым (при остальных равных условиях) и гидрограф стока будет иметь одну вершину. А при асимметричной форме водосбора гидрограф может иметь две и более вершин в результате разного времени добегания воды с левой и правой частей водосбора, что отразится и на продолжительности половодья. Это наиболее заметно для средних и больших рек, имеющих к тому же часто разные климатические условия и разные ландшафты на различных частях водосбора. На малых реках при внутрисуточном ходе снеготаяния формируется волна половодья, состоящая из ряда суточных гидрографов стока.

Наличие на водосборах рек объектов дополнительного питания в виде ледников, снежников или наледей создает особые условия формирования половодья. Прежде всего это выражается в увеличении расходов воды и продолжительности половодья. Для рек с ледниковым питанием формирование половодья начинается весной в нижней части водосбора, находящейся на малых высотах, а пик половодья наблюдается в летний сезон, когда начинается наиболее интенсивное таяние ледников, находящихся на больших высотах водосбора. Поэтому гидрограф стока ледниковых рек в теплый сезон в целом соответствует графику хода среднесуточных температур воздуха. Наибольшие расходы воды проходят на реках в наиболее жаркие периоды. Естественно, что в формиро-

вании половодья участвуют не только снеговые (ледниковые) воды, но и дожди, особенно в нижних частях водосборов. Следовательно, формирование максимальных расходов воды является смешанным – снего-дождевым.

В горных районах, при отсутствии ледников, дополнительное питание в период формирования половодья реки могут получать при таянии снежников. В этом случае происходит увеличение не только расходов воды, но и продолжительности половодья. Одновременно может возрасти доля дождевых вод, участвующих в питании рек. Однако роль снежников несопоставимо мала по сравнению с ролью ледников.

В зоне многолетней мерзлоты на водосборах рек могут существовать разного размера наледи – временные (сезонные) и многолетние. Они дают дополнительное питание рекам в период формирования половодья и увеличивают его продолжительность. Вклад наледного стока в этот период зависит от количества наледей и их мощности. Наибольшее значение имеют многолетние наледи.

Таким образом, наличие на водосборах рек ледников, снежников или наледей обуславливает увеличение максимальных расходов воды и продолжительности формирования половодья, а также возрастание роли дождевых вод в их формировании.

Особую роль в формировании половодья играет растительность, поскольку она влияет как на накопление осадков, так и на их расходование. На рис. 4 показаны факторы растительного характера, способные оказать влияние на сток рек в период половодья.



Рис. 4. Факторы растительности, влияющие на формирование половодья

Лесная растительность влияет на накопление осадков на водосборе и их распределение на поверхности, особенно в зимний сезон. Имеются данные об

увеличении осадков над лесными массивами, наиболее заметном в лесостепных районах. Вместе с тем, увеличивается испарение в результате транспирации растительностью.

В хвойных лесах до 25–35 % выпавших осадков задерживается деревьями, особенно в зимний сезон. В лиственных лесах эти цифры снижаются до 10 %. Задержанные деревьями осадки практически все уходят на испарение. При этом величина испарения меняется с изменением возраста леса. Наибольшее испарение происходит в лесах среднего возраста, а наименьшее – в очень молодых лесах и в старых.

В зимний сезон в результате переноса снега с открытых пространств в лесные массивы снегозапасы увеличиваются до 10 % в хвойных лесах и до 20–30 % – в смешанных лесах.

В лесостепных районах снегозапасы в лесных массивах могут возрасти до 50–70 %. Наиболее заметно изменение снегозапасов на малых реках при сравнении соседних лесных и безлесных водосборов.

Неравномерное распределение снегозапасов обуславливает различие в количестве инфильтрующейся воды в почвогрунты, т.е. разный коэффициент стока. На него влияет и разница в характере почвогрунтов и их покрытия. В облесенных бассейнах они более пористые, чем в необлесенных вследствие наличия разного рода пустот и корневых ходов, рыхлой лесной подстилки, наличия мха, листьев. Поэтому сток воды непосредственно по поверхности наблюдается лишь в отдельных местах. Основная часть стока происходит в верхних горизонтах почвы, а затем в первом водоносном горизонте. В многоводную весну, таким образом, стекает 70–80 % воды, образующей пик половодья, а в маловодную – лишь 20–40 %. Остальная вода уходит на питание более глубоких водоносных горизонтов.

При вырубке лесов сохраняются лесные почвы, поэтому характер поверхностного стока меняется несущественно. Если лесные почвы впоследствии не используются для сельского хозяйства, то происходит лишь смена форм растительности. Хвойные леса замещаются лиственными или кустарником. В этом случае испарение может быть меньше, чем с поля.

На открытых пространствах (луг, поле) перераспределение снегозапасов происходит в основном за счет неровностей рельефа, т.е. имеет значение расчлененность водосбора, о чем уже было сказано ранее. При этом наличие кустарниковой растительности способствует снегозадержанию.

На сельскохозяйственных полях после уборки зерновых остается стерня, что ведет к более равномерному распределению снежного покрова по поверхности водосбора, задерживая перенос снега в пониженные места, которые весной могут служить временным аккумулятором поверхностных вод.

Хозяйственная деятельность на речных водосборах может оказывать существенное влияние на формирование половодья. На рис. 5 показаны основные составляющие антропогенных факторов, способных в той или иной мере повли-

ять на величину максимальных расходов воды в период половодья и на его продолжительность.



Рис. 5. Составляющие антропогенных факторов, влияющие на формирование половодья

Наличие в русле реки или на ее водосборе водохранилища или пруда существенно искажает характер половодья, уменьшая максимальные расходы воды и его продолжительность ниже плотины. Это влияние будет особенно большим при наличии каскада прудов или водохранилищ, что нередко существует в степных районах. Однако в случае прорыва хотя бы одной из плотин может произойти наводнение вплоть до катастрофического.

При осушении заболоченных земель образуется сеть дренажных канав и каналов, которые позволяют увеличить сброс поверхностной воды, образующейся при снеготаянии и не попавшей в подземные воды. Поэтому гидрограф половодья имеет более резкий вид – быстрый подъем и быстрый спад расходов воды по сравнению со стоком с естественных водосборов.

При осуществлении агротехнических мероприятий на водосборе реки (снегозадержание, глубокая осенняя (зяблевая) пахота) увеличиваются потери поверхностных вод в весенний период в результате потерь на инфильтрацию. Однако при нарушении правил пахоты на склонах водосбора поверхностный сток может резко увеличиться, что ведет к увеличению стока наносов, заилению русла и повышению уровня воды.

При наличии обширных застроенных территорий (урбанизированные территории) возможно уменьшение максимальных расходов воды на малых реках ниже города (поселка) вследствие вывоза снега с застроенных территорий, а также ускоренного таяния снега на территории городов.

Таким образом, половодье на реках возникает в результате существующих до его формирования и в процессе его образования большого числа физико-географических и антропогенных факторов. Они могут воздействовать последовательно или одновременно в различном сочетании. Каждый из них в разные годы имеет различный вклад (весовой индекс) в его формирование. Более того, в отдельные годы не все факторы участвуют в образовании этого половодья. Поэтому перестановка факторов по их вкладу, как и их сочетание, меняется по годам. Исключение составляют лишь снегозапасы, ежегодно образующие половодье. При определенных условиях, в разряд определяющих могут выйти обычно второстепенные факторы. Так, при очень больших снегозапасах, способных сформировать катастрофическое половодье (определяющий фактор), и прочих

средних условиях, очень сухая осень обусловит большие потери поверхностного стока, что приведет к значительному уменьшению половодья.

Анализ составляющих климатических, геоморфологических, растительных и антропогенных факторов показывает, что минимальное количество факторов, участвующих в формировании половодья, будет не менее 14, а максимальное может достигать 47 (на больших реках), т.е. число возможных перестановок факторов, обуславливаемых природными причинами, столь велико, что на практике имеет вероятностный характер.

В зависимости от физико-географических условий, в которых находится бассейн реки, в формировании половодья могут участвовать не все ранее указанные факторы, а лишь часть из них. При этом фактор снеготазов, как и температура воздуха, всегда участвует в формировании половодья, по его определению.

Расчет количества возможных сочетаний факторов, формирующих половодье, можно произвести по формуле:

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}, \quad (1)$$

где  $n$  – общее число факторов;  $m$  – число факторов, участвующих в формировании половодья на конкретном водосборе.

Чем больше группировка факторов, тем меньше возможное количество сочетаний и, наоборот, при маленьких группировках число сочетаний быстро возрастает. Так, при учете 3 факторов из 5 число сочетаний равно 10 (т. е.  $C_5^3 = 10$ ), при учете 3 факторов из 10 будет 120 возможных сочетаний, а при учете 5 факторов из 20 число сочетаний достигает  $C_{20}^5 = 15504$ .

Таким образом, для практического решения поставленной задачи необходимо либо воспользоваться вероятностными методами, либо существенно ограничить число стокоформирующих факторов.

В практике строительного проектирования уже более 40 лет [2, 3] широко используется формула для расчета максимальных расходов воды поводья  $Q_{p\%}$  при отсутствии гидрометрических данных вида:

$$Q_{p\%} = (K_0 h_{p\%} \mu \delta \delta_1 \delta_2 \delta' A) / (A + A_1)^n. \quad (2)$$

Из вышеуказанных факторов в формуле в явном виде присутствуют лишь площадь водосбора  $A$ , его озерность  $\delta$ , заболоченность  $\delta_1$ , залесенность  $\delta_2$ . При определении слоя половодья  $h_{p\%}$  по карте изолиний, помимо указанного, косвенно учитываются уклон водосбора и его распаханность.

При отсутствии на водосборе реки, озер и болот, а также при малой облесенности водосбора в формуле присутствуют лишь стоковый фактор (слой по-

ловодья) и площадь водосбора, с которой формируется сток. Учитывая, что величина площади является постоянной во времени, переменной остается лишь величина слоя половодья, которая для неизученной реки определяется косвенным (расчетным) путем.

Следовательно, несмотря на большое количество факторов, участвующих или влияющих на формирование половодья, в расчетах стоковых характеристик в явном виде они почти не участвуют.

Наибольший интерес представляют факторы, обуславливающие формирование катастрофического половодья. Поэтому необходимо исследовать условия его формирования, выявив решающие факторы, которые позволят осуществлять достаточно надежный их расчет и прогноз.

Экстремальный максимальный расход воды, создающий наводнения катастрофического характера, формируется очень быстро за счет вод, образующихся на поверхности водосбора в период интенсивного снеготаяния и одновременного выпадения дождей.

Особые случаи возникновения катастрофического наводнения в период половодья (в результате образования заторов при ледоходе, прихода воды по руслу с выше расположенных участков водосбора, ветровых и сейшевых нагонов воды, подпора в устьевых участках притоков, при сходе селевых потоков, при таянии ледников) в данном случае не рассматриваются.

На рис. 6 показана структурная схема факторов, определяющих формирование катастрофического половодья.

Главным фактором, естественно, являются снегозапасы. Чем больше глубина выпавшего на водосбор снега и чем больше его плотность, тем больше воды должно образоваться при снеготаянии. К этому добавятся вода от дождей, выпадающих в период снеготаяния. Интенсивное нарастание положительных температур воздуха, не прерываемых появлением отрицательных температур даже в ночное время, увеличивает общую сумму положительных суточных температур воздуха и ускоряет снеготаяние, т.е. уменьшает период снеготаяния и увеличивает водоотдачу с водосбора. Этому же способствуют наличие ледяной корки на поверхности водосбора или многолетней мерзлоты на водосборе. Чем большая часть поверхности водосбора покрыта ледяной коркой или промерзшим почвогрунтом, а тем более слоями льда под поверхностью, тем больше образовавшейся воды стечет по поверхности водосбора.

В известной мере этому же способствует большая влажность почвогрунтов речного бассейна. Если глубокой осенью выпадали обильные осадки, сформировавшие осенний паводок (или паводки), уходящий в зимний сезон, то на реке формируется высокая зимняя межень, которая способствует повышенному речному стоку в начале половодья по сравнению с низкой зимней меженью в случае сухой осени.

Чем быстрее происходит снеготаяние, тем быстрее формируется ветвь подъема половодья, заканчивающаяся появлением наибольшего (максимально-

го) расхода воды и соответствующего ему максимального уровня воды. На скорость формирования ветви подъема большое влияние оказывают экспозиция склонов и уклоны водосборов речной системы. Чем больше склонов южной экспозиции, тем быстрее происходит снеготаяние, а чем больше уклоны склонов, тем меньше время добегания воды до русла реки. Этому же способствует и большая расчлененность поверхности водосбора, поскольку скорость добегания воды до замыкающего створа по руслам резко увеличивается по сравнению со склоновым временем добегания.



Рис. 6. Структурная схема факторов, определяющих катастрофическое половодье

Количество воды, добежавшей до русла, в значительной мере зависит от почвогрунтов бассейна. Чем меньше воды уйдет в почвогрунты, тем больше ее попадет в речное русло. Поэтому водосборы, сложенные глинистыми и суглинистыми грунтами, имеют высокий коэффициент поверхностного стока по сравнению с водосборами, сложенными песчаными и супесчаными грунтами.

Наибольший коэффициент стока имеют скальные породы. Такие водосборы к тому же имеют и наибольшие уклоны (горные водосборы), т.е. у них существует наименьшее время добегания поверхностных вод по склонам и руслам.

Определенное значение при формировании максимумов может иметь конфигурация водосбора реки. При симметричных частях водосбора (округлый, эллипсоидный) время добегания воды, при прочих приблизительно равных условиях, будет одинаковым для правых и левых притоков или частей водосбора. Поэтому сформируется один пик половодья с наивысшим расходом воды. Однако аналогичная картина будет наблюдаться и при резко асимметричном водосборе, когда основная часть воды поступает лишь с одной стороны водосбора. В остальных случаях может быть два и более пиков половодья. Последнее свойственно большим рекам.

Площадь водосбора является приемником осадков, преобразующим их в сток воды. Вследствие наличия на этой площади различного рода вышеуказанных факторов образовавшийся на ней сток трансформируется во времени и уменьшается количественно. Поэтому можно считать, что к замыкающему створу приходит сток, интегрально отражающий произошедшие на водосборе изменения величины объема воды, образовавшейся первоначально.

Объем воды, сформировавшейся на водосборе и достигающей русловой сети, не успевает стечь и накапливается в русловой сети. В результате происходит подъем уровня воды и затопление участков территории, расположенной выше русла реки (пойма, террасы, долина).

Границы затопления зависят от объема поступающей воды, а также от скорости притекающей воды к руслу, скорости воды в русле (отток воды), от геометрии поперечного сечения потока и планового положения русла и в целом долины реки, то есть от типа русла и типа долины реки.

Наибольшая скорость подъема уровня воды наблюдается в узких глубоких руслах и долинах (щелеобразные – щель, каньон, ущелье, V-образная долина), характерных для горных районов. Большая площадь затопления наблюдается для трапецеидальных русел с широкой поймой и русел с неявно выраженной долиной (заболоченные районы). В последнем случае затапливаются наиболее обширные территории.

Повышению уровня затопления способствует заиливание русла реки в результате естественных причин (большое количество наносов, проносимых рекой в легко размываемых породах) или при неправильном ведении сельскохозяйственных работ. Последнее особенно сильно проявляется на малых реках.

Наличие в русле реки каких-либо водохранилищ может существенно увеличить угрозу возникновения катастрофического наводнения вследствие возможного прорыва хотя бы одной плотины.

С другой стороны, естественные и искусственные аккумуляторы стока (озера, водохранилища) способствуют задержанию притока поверхностных вод и снижению максимальных расходов воды, т.е. уменьшению объема половодья.

Таким образом, семь геоморфологических факторов (исключая водохранилища и заиление русла) являются постоянными (не меняются во времени) и семь факторов – переменными, зависящими от климатических условий, в которых формируется половодье. При этом прямое участие в формировании объема половодья принимают осадки (снег, дождь), а увлажненность бассейна лишь способствует уменьшению потерь воды, образующейся на водосборе при снеготаянии, поскольку поступление воды при таянии ледяной корки или мерзлого грунта и под действием других факторов несущественно по величине по сравнению с объемом образовавшейся при таянии воды.

Следовательно, при расчете половодья (объем, максимальный расход воды) можно считать, что основными параметрами являются площадь водосбора (постоянный параметр) и объем воды, сформированной на поверхности водосбора в процессе снеготаяния и стекания (время добегания воды до замыкающего створа). Остальные факторы, в конечном счете, могут быть учтены через коэффициент стока, состоящий из ряда частных коэффициентов стока, учитывающих сугубо местные условия стекания воды.

Уровни воды в реках непосредственно связаны с расходами воды. Поэтому физико-географические факторы, определяющие расходы воды, естественно, влияют и на уровни, что отражается кривой связи вида  $Q = f(H)$ , где  $Q$  – расход воды,  $H$  – уровень воды. Хотя правильнее говорить о зависимости  $H = f(Q)$ , поскольку в большинстве случаев уровень воды определяется количеством воды, протекающим в конкретном створе реки, то есть расходом воды.

В период экстремальных расходов воды наблюдаются и экстремальные уровни, которые определяют максимальную зону затопления территории. Однако, в отдельных случаях большая зона затопления может возникать и при меньшем подъеме уровня, что происходит в результате прорыва береговых валов или защитных дамб.

Формирование экстремальных уровней воды на озере в период половодья происходит за счет воды, поступающей с водосбора озера и за счет осадков, выпадающих на поверхность озера.

Выше рассмотрено формирование экстремального половодья на водосборе, включая и русла рек, притекающих к озеру. Процесс формирования воды в чаше озера целесообразно рассматривать лишь применительно к большим и частично к средним озерам. Согласно ГОСТу 17.1.1.02-77 [1], к большим озерам относятся водоемы с площадью поверхности более  $100 \text{ км}^2$ , а к средним – от  $10$  до  $100 \text{ км}^2$ . Естественно, что чем меньше площадь поверхности озера, тем меньше и вклад собственно озера в объем формирования половодья. На рис. 7 представлена структурная схема факторов, участвующих в формировании половодья.

Приток воды с водосбора озера может зависеть от большого числа факторов или их сочетаний, что уже рассмотрено. Вклад таких факторов, как запасы льда на озере, снеготопасы на льду и количество жидких осадков, выпавших на поверхность озера, может только в особых случаях стать существенным. Это

относится прежде всего к площади озера и объему сливной призмы. Их соотношение определяет объем накапливаемой воды в озере и ее последующий расход, то есть максимальный и минимальный уровни озера. Этому же способствует и тип берегов – пологие или крутые, определяющих площадь разлива.

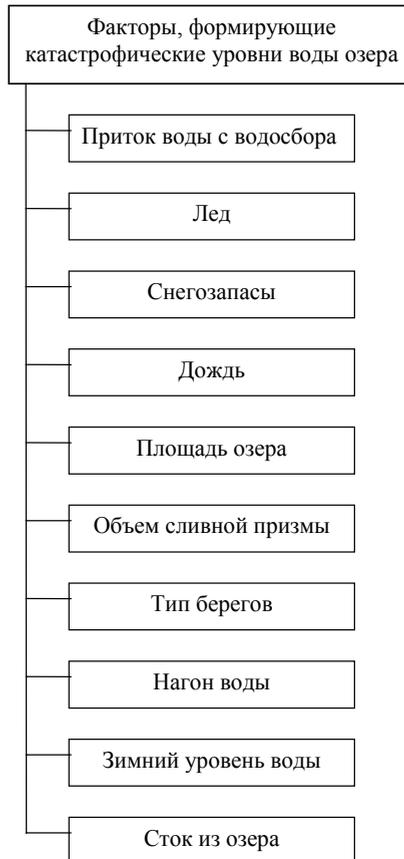


Рис. 7. Составляющие физико-географических факторов, участвующих в формировании экстремальных максимальных уровней воды на озере в период половодья

На больших озерах существенный вклад в увеличение уровня может внести нагон воды в результате влияния ветра или сейшевых явлений.

Определенное значение в формировании уровня воды в период половодья может иметь зимний уровень воды озера в начале половодья. Чем он выше, тем выше будет и экстремальный уровень, естественно, при максимальном притоке воды в озеро.

На проточных озерах большой вклад в водный баланс притока и оттока воды из озера может внести последний. При интенсивном стоке воды из озера увеличение экстремального уровня воды на озере может оказаться существенно меньше ожидаемого.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 07-05-01037.

***Литература***

- 1 ГОСТ 17.1.1.02-77. Охрана природы. Гидросфера. Классификация водных объектов. – М.: Госстандарт, 1977.
- 2 СН 356-66. Указания по определению расчетных максимальных расходов талых вод при отсутствии или недостаточности гидрометрических наблюдений. СН 356-66. – Л.: Гидрометеониздат, 1966.
- 3 СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой РФ, 2004.