

М. А. Велканов, член-корресп. АН СССР

Прогнозирование дождевых паводков для малых бассейнов

(Представлено 28 II 1946)

Вся теория прогноза дождевого паводка должна основываться на анализе двух процессов:

а) формирование паводочной волны путем склонового, и отчасти тальвежного, стекания; и б) передвижения паводочной волны вдоль русла реки.

Задача прогноза состоит, таким образом, в предвычислении формирования паводка и в предвычислении добега паводочной волны до того створа, для которого дается прогноз.

Процесс формирования паводка описывается разработанной автором теорией при следующих ограничительных условиях:

1. Водосбор достаточно мал, чтобы иметь право считать его однородным в почвенном отношении.

2. Водосбор полностью перекрывается ливневой тучей; и

3. Учитывается лишь изменение интенсивности ливня во времени, но не по площади водосбора.

Первые два допущения непосредственно вытекают из самого факта малости бассейна; третье же косвенно также с ним связано, поскольку трудно допустить для малого бассейна наличие многих дождемеров, а в таком случае учет различия в интенсивности по площади становится фиктивным.

Излагаемая теория исходит из понятия „времени добега“, математически определяемого, как интеграл

$$\tau = \int_0^{\infty} \frac{ds}{u}, \quad \dots \dots \dots (1)$$

взятый по линии стекания от любой точки бассейна до замыкающего створа. Эта величина не является постоянной для определенной точки бассейна, поскольку скорость стекания зависит с одной стороны от интенсивности ливня, а с другой — от величины потерь по пути стекающей массы воды: но

в первом приближении эта зависимость может быть учтена подсчетом величины τ для небольшого числа наиболее часто встречающихся интенсивностей. Самый подсчет ведется по формулам:

а) для склонового стекания*

$$u = 26q^{2/3} i^{1/2}, \quad \dots \dots \dots (2)$$

где q — расход на пог. метр.

u — скорость

i — уклон;

б) для стекания по тальвегу принята формула Дубаха:

$$u = 4,4q^{1/4} i^{3/8}, \quad \dots \dots \dots (3)$$

q — расход через живое сечение.

(Обе формулы даются в метрах и секундах).

Необходимо оговорить, что коэффициенты выведены для равнинных условий, где преобладают суглинистые почвы. Для горных условий и каменистых поверхностей оба коэффициента будут немного меньше, но на сколько—пока трудно сказать, без постановки специальных экспериментов и измерений.

Вычисление времен добегания с различных точек бассейна позволяет составить карты бассейна в изохронах для нескольких (обычно достаточно трех) интенсивностей ливня.

Интервал изохрон должен быть для каждого бассейна (в зависимости от его размеров и крутизны склонов) принят особо: от 10—20 минут для очень малых бассейнов до 2—3 часов для больших. В результате составляются графики, или таблицы, значений ω в функции τ для различных интенсивностей h .

Исходное равенство, полученное автором в результате его теоретического анализа, гласит:

$$Q_t = \int_0^{\tau=t} \frac{\partial \omega}{\partial \tau} \cdot h_{t-\tau} \cdot e^{-k\tau} d\tau \dots \dots \dots (4)$$

Множитель $e^{-k\tau}$ учитывает потери на фильтрацию, причем коэффициент k на основании тех же проработок (см. выше) получен (в мин.⁻¹):

для жирного суглинка	0,001
для песчано-глинистой почвы	0,005
для песчанной почвы с примесью глины	0,03—0,04

* Эта формула получена в Центр. Инст. Прогнозов сотрудницей Н. Я. Подвишневской путем обработки под руководством автора данных наблюдений М. М. Протодьяконова.

Интеграл (4) далее заменяется суммой

$$Q_i = \sum_{j=1}^{j=i} \delta f_j \cdot h_{i-j+1}; \quad \text{где } \delta f_j = \left(\frac{\partial \omega}{\partial \tau} \right)_j \cdot \delta \tau_j e^{-k\tau_j} \quad (5)$$

Здесь индексы i и j суть номера интервалов, причем i есть номер интервала истинного времени, отсчитываемого от начала ливня, а j — номер интервала, через который проведены изохроны на карте бассейна. Для возможности предвычисления гидрографа паводка предварительно составляется таблица функциональной связи между δf_j и интенсивностью ливня.

Далее, получая телефонную (или иную, равноценную по времени) информацию об интенсивности ливня по тем же интервалам $\delta t = \delta \tau$, мы можем простым перемножением и суммированием получить согласно (5) весь гидрограф паводка.

Далее идет предвычисление самого хода паводка по основному руслу до ГЭС. Приближенная теория паводка, разработанная французской школой речной гидравлики (Фламан, Делеме и др.), исходит из уравнения неразрывности в виде:

$$\frac{\partial Q}{\partial s} + \frac{\partial \Omega}{\partial t} = 0, \quad \dots \quad (6)$$

где Q и Ω соответственно расход и площадь живого сечения для створа в расстоянии s от условного начала и в момент времени t . Из кривых расхода $Q(H)$ и кривых площадей $\Omega(H)$, где H — высота по рейке, строим для каждого створа (по интервалам) зависимость

$$Q = F(\Omega), \quad \dots \quad (7)$$

после чего уравнение неразрывности принимает вид:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \left(\frac{dQ}{d\Omega} \right) \frac{\partial Q}{\partial s} = 0. \quad \dots \quad (8)$$

Его интеграл будет:

$$Q = \Phi \left(s - \frac{dQ}{d\Omega} t \right), \quad \dots \quad (9)$$

откуда для любого интервала по длине имеем скорость продвижения данного расхода в виде:

$$\frac{ds}{dt} = \left(\frac{dQ}{d\Omega} \right)_j = v_{Q,j} \quad \dots \quad (10)$$

Время добегающего для некоторого расхода Q от створа формирования паводка до ГЭС будет равно:

$$\tau_Q = \int_0^s \frac{ds}{v_Q}, \quad \dots \quad (11)$$

или, заменяя интеграл суммой, приходим к следующему равенству:

$$\tau_Q = \sum_{j=1}^j \frac{s_j}{v_{Q,j}}, \quad \dots \dots \dots (12)$$

дающему возможность вычислить время добегания для любой ординаты нашего — полученного ранее — ступеньчатого гидрографа.

В заключение коснемся, вкратце, вопроса о прогнозировании весенних паводков *талых* вод. В части вычисления времен добегания, и соответственно составления карт в изохронах, вопрос принципиально ставится так же, как и для дождевых паводков, хотя параметры, входящие в формулы (2) и (3), вероятно несколько изменятся вследствие иных условий стекания воды под снегом (вопрос пока еще мало исследованный).

Оставляя пока — в первом приближении ту же схему расчета с теми же коэффициентами и для стекания и для потерь на инфильтрацию, мы получим аналогичную таблицу значений δf_j . Но далее мы должны заменить интенсивность ливня соответственно через интенсивность снеготаяния, каковая *непосредственно* не может быть измерена, но приближенно может быть получена из простой пропорциональности

$$h = \beta \Theta^n, \quad \dots \dots \dots (13)$$

причем параметр β для условий Армении должен быть получен специальными измерениями; пока же — опять-таки в первом приближении — мы позволяем себе рекомендовать значение

$\beta = 2,5$, полученное нами для равнинных условий
(Θ^0 — средне-суточная температура, в градусах Цельсия,
 h — мощность снегозапаса в мм слоя воды).

При этом необходимо подчеркнуть, что если прогноз ливневых осадков вообще невозможен, то прогноз температуры в настоящее время осуществляется довольно удовлетворительно; поэтому прогноз снеговых паводков на базе прогноза температуры принципиально вполне возможен.

Водно-Энергетический Институт
Академии Наук Арм. ССР
Ереван, 1945, октябрь.

Մ. Ա. ՎԵԼԻԿԱՆՈՎ

ԱՆՃՐԵԱՅԻՆ ԿԵՂԵՂՈՒՄՆԵՐԻ ԿԱՆԽՈՐՈՇՈՒՄԸ ՓՈՒՐ ԹՎԱԳՊԱՆՆԵՐԻ ԿԱՄԱՐ

Անձրևային կեղեղման կանխորոշման խնդիրն է՝ լանջերից հոսելու հետևանքով կեղեղման ձևավորման նախահաշվումը և հունում ընթրված ընթացագծին ալիքի հասնելու նախորոշումը:

Հեղեղման ձևավորման տեսությունը հիմնված է իզոխրոնների (տեղումների հասնելու հավասար ժամանակի գծեր) քարտեզները կազմելու վրա, եթե ենթադրվի, որ՝ ա) հողը համասեռ է ջրահավաք ավազանի համար, բ) հորդանձրևային ամպը ծածկում է ամբողջ

ժակերեսը և գ) հորդառատ տեղումի ինտենսիվությունը σ ժամանակի ընթացքում փոխվում է, բայց միատեսակ ըստ ժակերեսի:

Հաշվման հիմնական բանաձևը՝

Ս
P M
QF)

$$Q_t = \int_0^{\tau=t} \frac{\partial \omega}{\partial \tau} h_{t-\tau} e^{-k\tau} d\tau$$

Տվյալ բանաձևում ավազանի ժակերեսի մեծություն ω -ի արժեքը հարկավոր է նախորոք որոշել որպես ալիքի հասնելու τ ժամանակի ֆունկցիա և տեղումների մի քանի քնորոշ ինտենսիվությունների դեպքում: Գործնական հաշվումների դեպքում ինտեգրումը փոխարինվում է գումարումով: k գործակիցները հաշվված են փորձնական տվյալներով հողի 3 կատեգորիաների համար:

Հունի հիդրավիկական բնույթի առկայության դեպքում ալիքի հասնելու ժամանակը հաշվվում է անընդհատության հավասարման մոտավոր ինտեգրման հիման վրա:

Հորդառատ տեղումների հեղեղման սխեմայի ձևակերպումը կարելի է տարածել նաև ձյունահալ ջրերի հեղեղման դեպքի վրա, ընդ որում տեղումների ինտենսիվությունը փոխարինվում է ձյունահալման ինտենսիվությամբ:

Մեծտորոյողիական կանխորոշումների ներկա դրության դեպքում ձյունահալ ջրերի հեղեղման նախորոշումը միանգամայն հնարավոր է:

M. A. Velikanov

The Forecasting of Rainfloods for Small Watersheds

The problem of rainflood forecasting consists of precalculating flood formation as a result of overlandflow and of precasting the time interval „ τ “ required for a wave to reach a hydrometric post at a selected point on the river.

The flood formation theory is based on drawing maps with isochrons, i. e. lines connecting points at which the rain precipitation reaches the river at the same time, supposing the following conditions:

- a. The soil is uniform all over the basin area.
- b. The storm cloud covers the whole basin area.
- c. The rain intensity changes with the time but is uniform relative to the area.

The basic formula for calculating

$$Q_\tau = \int_0^{\tau=t} \frac{\partial \omega}{\partial \tau} h_{t-\tau} e^{-k\tau} d\tau$$

requires the predetermination of the area of basin „ ω “ as a function of the time „ τ “ at several values of rainprecipitation „ h “. For practical use the integration may be replaced by summation. The „ k “ factor has been determined for three soil grades according to experimental data.

The time interval at which the wave is running along the river bed can be calculated on the basis of approximate integration of the continuity equation when the hydraulic river characteristics are known.

The flood formation diagram may refer also to the case of snowmelting floods, the rain precipitation intensity being replaced by the intensity of snowmelting.

Under the modern meteorological forecasting conditions the snowmelting flood precasting is quite possible.