

# О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ МЕТОДИКИ ОПЕРАТИВНОГО ВЫЯВЛЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ НАВОДНЕНИЙ

**О.Н. Савчук, кандидат технических наук, профессор,  
заслуженный работник высшей школы Российской Федерации.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассматриваются пути совершенствования прогнозирования последствий наводнений на основе существующей методики поэтапного выявления и оценки обстановки, позволяющей оперативно получить данные прогноза и провести расчет сил и средств Государственной противопожарной службы МЧС России для проведения аварийно-спасательных работ в районе затопления.

*Ключевые слова:* наводнение, интенсивность осадков, аварийно-спасательные работы, глубина затопления

## ABOUT IMPROVEMENT OF THE TECHNIQUE OF EXPEDITIOUS IDENTIFICATION OF CONSEQUENCES OF FLOODS

O.N. Savchuk. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

In article ways of improvement of forecasting of consequences of floods on the basis of the existing technique of stage-by-stage identification and an assessment of the situation allowing to obtain quickly data of the forecast and to carry out calculation of forces and means of State fire service of EMERCOM of Russia for carrying out a wrecking around flooding are considered.

*Keywords:* flood, intensity of rainfall, wrecking, flooding depth

По масштабам и материальному ущербу в России наводнения занимают одно из первых мест среди стихийных бедствий. Особенностью наводнений, как и других чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного характера, является то, что их невозможно предотвратить, только лишь возможно снизить ущерб. Величина ущерба от наводнения в значительной мере зависит от степени заселенности и застройки городов и населенных пунктов [1, 2].

Основными природно-географическими условиями возникновения наводнений являются: выпадение осадков в виде дождя, таяние снега и льда, цунами, тайфуны, опорожнение водохранилищ. Наиболее частые наводнения возникают при обильном выпадении осадков в виде дождя, обильном таянии снега и при заторах льда на реках. Весьма опасны наводнения, связанные с разрушением гидротехнических сооружений (ГЭС, дамбы, плотины).

Для снижения материального ущерба и повышения безопасности населения проводится заблаговременное краткосрочное прогнозирование возможных последствий наводнения [1, 2].

Под краткосрочным прогнозированием следует понимать составление гидрологического прогноза характера и последствий наводнения не более чем за 12–15 дней до наступления предсказываемого явления.

Под паводковым наводнением следует понимать интенсивный, сравнительно кратковременный подъем уровня воды, формируемый сильными дождями.

Для краткосрочного прогнозирования паводкового наводнения заблаговременно должна быть проведена съемка гидрографической сети территории, известна характеристика

рек в их естественном состоянии, выявлены факторы и явления, которые могут внести изменения в режим водных преград.

Эти данные могут быть получены из следующих источников: карт, описаний, справочной и специальной литературы. Разнообразные по характеру и степени детализации данные о водных преградах содержат крупномасштабные (1:25000; 1:50000) топографические карты, лоцманские карты, лоции, перспективные карты рек, карты условий проходимости местности, геологические, гидрогеологические, климатологические карты и т.п.

Из справочной и специальной литературы могут быть использованы справочники по климатологии, гидрографии, водному хозяйству и водным ресурсам, атласы физико-географических данных, гидрологические ежегодники и т.п.

На этапе составления краткосрочного прогноза паводкового наводнения должны быть спрогнозированы:

- гидрологические и морфологические характеристики рек;
- возможная обстановка при затоплении местности паводковыми водами;
- оценка обстановки при затоплении местности паводковыми водами;
- силы и средства ликвидации последствий паводкового наводнения.

При составлении прогноза о возможной обстановке должны быть определены следующие показатели: площадь затопления; количество населенных пунктов, попавших в зону затопления; степени и качественные характеристики повреждений зданий жилого фонда (к степеням повреждений зданий следует относить тяжелые повреждения, умеренные и слабые); численность населения, попавшего в зону затопления и его потери; протяженность попавших в зону затопления и поврежденных коммунально-энергетических сетей; протяженность попавших в зону затопления и поврежденных мостов; протяженность попавших в зону затопления и поврежденных защитных дамб; количество попавшего в зону затопления скота и его потери; площади попавших в зону затопления и пришедших в негодность посевных площадей; объемы и трудоемкость выполнения аварийно-спасательных работ.

На основе данных возможной обстановки в зоне затопления создается группировка сил ликвидации последствий наводнения, способная провести разведку зоны затопления; спасение пострадавшего населения; организовать строительство пунктов посадки и высадки пострадавшего населения на все виды транспорта; организовать восстановление автомобильных дорог и железнодорожных магистралей; организовать восстановление поврежденных и строительство (оборудование) новых мостов, новых защитных дамб; организовать восстановление коммунально-энергетических сетей и линий связи; организовать спасение и захоронение погибшего скота.

Методологически целесообразно осуществлять выявление последствий наводнения в два этапа [3], также как и при выявлении последствий техногенных ЧС – выявление обстановки, складывающейся по результатам наводнения, и оценку обстановки в районе после наводнения.

### **Выявление обстановки при наводнении**

Выявление обстановки при наводнении предусматривает определение глубины затопления и масштабов затопления селитебной части и посевных площадей.

Выявление обстановки при наводнении методом прогнозирования включает:

1. Сбор исходных данных:

- характеристики водного источника (реки): схематическое сечение русла реки (треугольного или трапецидального вида, ширина дна  $a_0$ , м, углы наклона берегов реки, град); площадь выпадения осадков (таяния снега)  $F$ , км<sup>2</sup>; ширина реки до наводнения  $b_0$ , м; глубина реки до наводнения  $h_0$ , м; скорость воды в реке до наступления паводка  $V_0$ , м/с;
- характеристики района (населенного пункта): высота места  $h_m$ , м; тип застройки;
- интенсивность осадков (таяния снега)  $J$ , мм/ч.

2. Определение глубины затопления  $h_3$  (м) и параметров зоны затопления.
  3. Нанесение зоны затопления на карту (схему).
- Основные параметры расчетной схемы сечения реки представлены на рис. 1.  
Глубина затопления определяется по формуле:

$$h_3 = h - h_m, \quad (1)$$

где  $h$  – высота подъема воды в реке при прохождении паводка, м;  $h_m$  – высота места селитебной части населенного пункта, м.

Высоту  $h$  определяют по формуле [3]:

– для треугольного сечения русла реки:

$$h = \left( \frac{2V'_{max} h_0^{5/3}}{b_0 \cdot v_0} \right)^{3/8} - h_0;$$

– для трапецидального сечения русла реки:

$$h = \left( \frac{2V'_{max} [(b_0 - a_0) / (\operatorname{ctg} m + \operatorname{ctg} n)]^{5/3}}{b_0 \cdot v_0} \right)^{3/8} - \frac{b_0 - a_0}{\operatorname{ctg} m + \operatorname{ctg} n}, \quad (2)$$

где  $V'_{max}$  – расход воды после выпадения осадков (таяния снега) и наступления половодья (паводка),  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $b_0$  – ширина реки до наводнения, м;  $a_0$  – ширина дна реки, м;  $m, n$  – углы наклона берегов реки, град;  $h_0$  – глубина реки до наводнения, м;  $v_0$  – скорость течения воды в реке до наступления паводка, м/с.

Расход воды после выпадения осадков (таяния снега) и наступления половодья (паводка) определяется по формуле [4]:

$$V'_{max} = V'_0 + J \cdot F / 3,6, \quad (3)$$

где  $V'_0$  – расход воды в реке до наступления наводнения (паводка),  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $J$  – интенсивность осадков (таяния снега), мм/ч;  $F$  – площадь выпадения осадков (таяния снега),  $\text{км}^2$ .

Расход воды в реке до наступления наводнения (паводка) определяют по формуле [4]:

$$V'_0 = V_0 \cdot S_0, \quad (4)$$

где  $V_0$  – скорость воды в реке до наступления паводка, м/с;  $S_0$  – площадь сечения русла реки до паводка,  $\text{м}^2$ .

Площадь сечения русла реки до паводка определяется по формуле:

– для треугольного сечения:

$$S_0 = 0,5 \cdot b_0 \cdot h_0; \quad (5)$$

– для трапецидального сечения:

$$S_0 = 0,5 \cdot (a_0 + b_0) \cdot h_0. \quad (6)$$

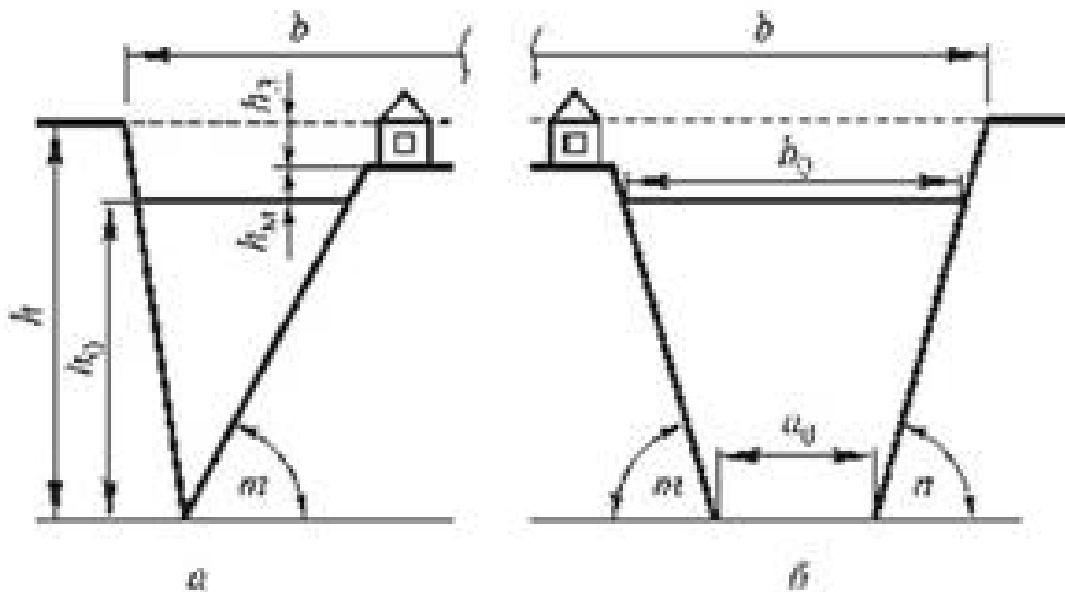


Рис. 1. Расчетная схема сечения реки:

а – треугольное сечение; б – трапецидальное сечение:  $a_0$  – ширина дна реки;  $b_0, b$  – ширина реки до и во время наводнения;  $h_0, h$  – глубина реки до и во время наводнения;  $h_3$  – глубина затопления;  $h_m$  – высота места;  $m, n$  – углы наклона берегов реки

Расчет параметров затопления предусматривает определение протяженности реки  $l_p$  в пределах населенного пункта (сельскохозяйственных угодий), ширины затопления поймы реки  $Ш_3$ .

Протяженность реки ориентировочно определяется по карте без учета изгибов ее конфигурации.

Ширина затопления поймы реки для треугольного сечения реки (рис. 2) определяется по формуле:

$$Ш_3 = [b_0 + 2h_m \cdot \text{tg}(90^\circ - m)] + 2l_{\text{низ}} + h_3 \cdot \text{ctg}\alpha + h_3 \cdot \text{ctg}\beta,$$

где  $l_{\text{низ}}$  – глубина прибрежной низменной поймы реки, м;  $\alpha, \beta$  – крутизна подъема местности в пойме реки, град.

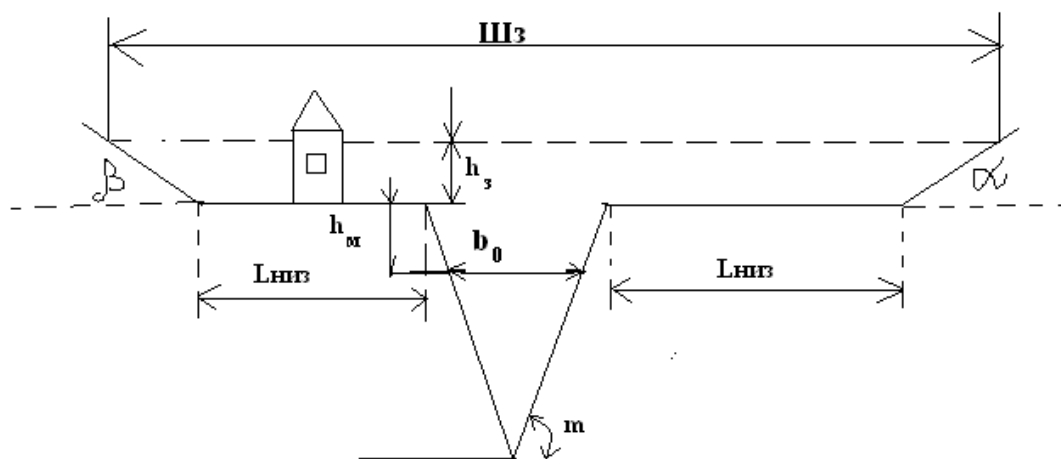


Рис. 2. Расчетная схема определения  $Ш_3$  для треугольного сечения реки:

$b_0$  – ширина реки до наводнения;  $h_3$  – глубина затопления;  $h_m$  – высота моста;  $m$  – угол наклона берега реки;  $L_{низ}$  – горизонтальное расстояние от берега реки в створе города

Ширина затопления поймы реки для трапецидального сечения реки (рис. 3) определяется по формуле:

$$Ш_3 = [b_0 + h_{\alpha} \cdot ctg \alpha + h_{\alpha} \cdot ctg \beta] + 2L_{низ} + h_3 \cdot ctg \alpha + h_3 \cdot ctg \beta. \quad (7)$$

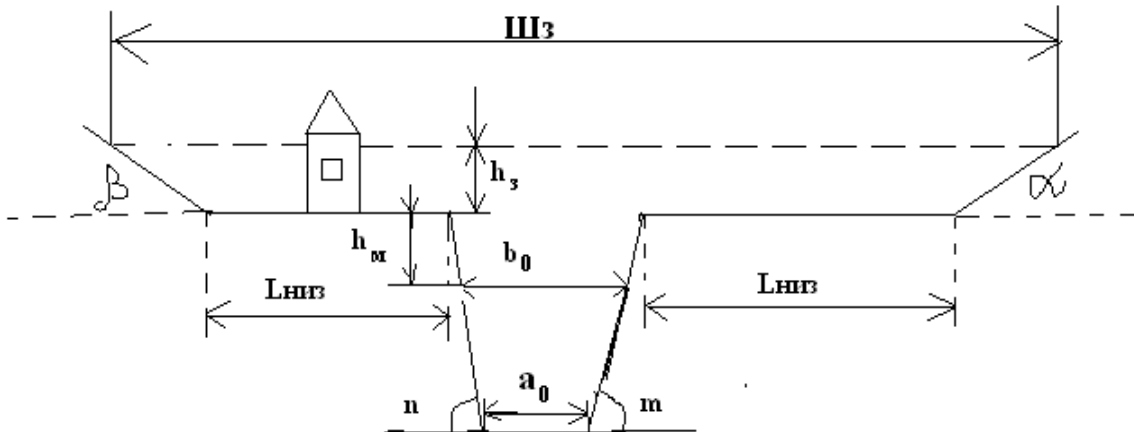


Рис. 3. Расчетная схема определения  $Ш_3$  для трапециевидного сечения реки:  
 $a_0$  – ширина дна реки;  $m, n$  – углы наклона берегов реки

Зона затопления отображается на карте синим цветом.

Пример 1. Выявить возможную обстановку при наводнении, вызванного таянием снега в пойме реки, в населенном пункте, расположенном на обоих берегах реки, состоящем из деревянных и кирпичных малоэтажных зданий, протяженность реки в пределах населенного пункта  $l_p=5$  км, глубина реки до наводнения  $h_0=3$  м, высота места  $h_m=1$  м, горизонтальное расстояние от берега реки в створе города  $l_{низ}=1$  км, крутизна подъема местности в пойме реки  $\alpha, \beta = 15^\circ$ . Интенсивность таяния снега  $J=50$  мм/ч, площадь поймы реки  $F=200$  км<sup>2</sup>, ширина реки  $b_0=100$  м, глубина  $h_0=4$  м, скорость течения  $V_0=2$  м/с, русло реки в сечении имеет форму равнобедренной трапеции с шириной дна  $a_0=80$  м.

Решение:

1. Определяем глубину затопления по формуле (1), для чего первоначально рассчитываем  $h$  с использованием формул (2)–(6).

Вначале определяем расход воды в реке до наступления наводнения по формулам (4) и (6):

$$V_0' = 2 \cdot 0,5(80 + 100) \cdot 4 = 720 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расход воды после таяния снега рассчитываем по формуле (3):

$$V_{\text{max}}' = 720 + 50 \cdot \frac{200}{2,5} = 3498 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Тогда высота подъема, согласно формуле (2), будет равна:

$$h = \left[ \frac{2 \cdot 3498 [(100 - 80) / (2,5 + 2,5)]^{2/3}}{100 \cdot 2} \right]^{3/8} - \frac{100 - 80}{2,5 + 2,5} = 4,27 \text{ м}.$$

Здесь  $\text{ctg } m = \text{ctgn} = (b_0 - a_0) / 2 \cdot h_0 = (100 - 80) / 2 \cdot 4 = 2,5$ .

Таким образом, глубина затопления составит, согласно формуле (1):

$$h_3 = 4,27 - 1 = 3,27 \text{ м.}$$

2. Определяем параметры зоны затопления:

– протяженность реки в пределах населенного пункта согласно примеру  $l_p = 5$  км (определяется по карте);

– ширина затопления определяется по формуле (7):

$$Ш_3 = [100 + 1 \cdot 2,5 + 1 \cdot 2,5] + 2 \cdot 1000 + 3,27 \cdot \text{ctg}15 + 3,27 \cdot \text{ctg}15 = 2129,41 \text{ м.}$$

$\text{ctg}15 = 3,733$

### Оценка обстановки при наводнении

Оценка обстановки при наводнении предусматривает решение задач по определению масштабов затопления, количества санитарных потерь, доли и степени поврежденных объектов на затопленных площадях и расчету сил и средств для проведения аварийно-спасательных и аварийно-восстановительных работ в районе затопления.

Оценка обстановки при наводнении включает:

1. Определение площади затопления местности  $S_3$  и количества населения, оказавшегося в зоне затопления.

2. Определение санитарных потерь, доли и степени поврежденных объектов на затопленных площадях.

3. Расчет сил и средств для проведения аварийно-спасательных и аварийно-восстановительных работ в районе затопления.

Площадь затопления определяется по формуле:

$$S_3 = l_p \cdot Ш_3. \quad (8)$$

Количество населения, оказавшееся в зоне затопления, определяется по формуле:

$$N_{3 \text{ нас}} = \frac{S_3}{S_r} \cdot N_{\text{нас}}. \quad (9)$$

где  $S_r$  – площадь населенного пункта,  $\text{км}^2$ ;  $N_{\text{нас}}$  – общее количество населения в населенном пункте, чел.

Количество санитарных потерь определяется по формуле [1]:

$$N_{\text{сан}} = 0,05 \cdot N_{3 \text{ нас}}. \quad (10)$$

Доля поврежденных объектов (%) в зоне затопления при крупных наводнениях определяется по табл. 1 по максимальной скорости потока затопления, определяемой по формуле [3] и времени затопления:

$$V_3 = V_{\text{max}} \cdot f, \quad (11)$$

где  $V_{\text{max}} = \frac{V_{\text{max}}}{S_{\text{max}}}$ ,  $S_{\text{max}}$  – площадь поперечного сечения потока при прохождении паводка,  $\text{м}^2$ , определяемая по формулам (5) и (6), в которые вместо  $h_0$  подставляется  $(h_0 + h)$ , а вместо  $b_0 = b_0 + 2h \cdot \text{ctgm}$ . Параметр  $f$  определяется по табл. 2.

Таблица 1. Доля поврежденных объектов (%) в зоне затопления при крупных наводнениях ( $V_3=3...4$  м/с)

Объект	Время затопления, ч					
	1	2	3	4	24	48
Затопление подвалов	10	15	40	60	85	90
Нарушение дорожного движения	15	30	60	75	95	100
Разрушение уличных мостовых	–	–	3	6	30	5
Смыв деревянных домов	–	7	70	90	100	100
Разрушение кирпичных зданий	–	–	10	40	50	60
Прекращение подачи электропитания	75	90	90	100	100	100
Прекращение телефонной связи	75	85	100	100	100	100
Повреждение газо- и теплоснабжения	–	–	7	10	30	70
Гибель урожая	–	–	–	–	3	8

Примечание: при  $V_3=1,5...2,5$  м/с значения таблицы умножить на 0,6; при  $V_3=4,5...5,5$  – умножить на 1,4.

Таблица 2. Значения параметра  $f$

$h_3/h$	Сечение русла		
	прямоугольное	трапецеидальное	треугольное
0,1	0,2	0,23	0,3
0,2	0,38	0,43	0,5
0,4	0,6	0,64	0,72
0,6	0,76	0,84	0,96
0,8	0,92	1,05	1,18
1,0	1,12	1,2	1,32

Степень разрушения объектов в зоне затопления определяется по табл. 1 Приложение 4 [3] в зависимости от скорости потока затопления и высоты подъема воды в реке при прохождении паводка.

Расчет сил и средств для проведения аварийно-спасательных и аварийно-восстановительных работ в районе затопления в общем случае предусматривает:

- определение сил разведки (количество звеньев речной и воздушной разведки);
- определение сил для охраны общественного порядка;
- определение сил спасения;
- определение сил оказания первой помощи;
- определение потребного количества плавсредств для эвакуации животных;
- определение потребного количества автомобильного транспорта для перевозки пострадавшего населения от границы затопления в районы расселения;
- определение сил на проведение аварийно-восстановительных работ по восстановлению линий электропередач, связи, ликвидации аварий на конденсационной электростанции (КЭС), канализации, восстановлению мостов;
- определение сил на оборудование пунктов посадки (высадки);
- определение сил для захоронения трупов.

Для органов управления ГПС МЧС России целесообразен расчет только для определения сил спасения и оказания первой помощи, в состав которых могут привлечь личный состав подразделений ГПС МЧС России.

Потребное количество спасательных групп определяется по формуле [1]:

$$N_{cr}=0,0033 \cdot N_{з \text{ нас.}} \quad (12)$$

Потребное количество санитарных дружин для оказания первой помощи определяется по формуле [1]:

$$N_{сд}=0,0033 \cdot N_{сан.} \quad (13)$$

Количественный состав  $N_{cr}$  и  $N_{сд}$  определяется, исходя из объемов и возможностей формирований.

Пример 2. Оценить обстановку при наводнении, вызванного таянием снега, в населенном пункте площадью  $S_r=50 \text{ км}^2$ , с общим количеством населения чел., расположенном на обоих берегах реки, состоящем из деревянных и кирпичных малоэтажных зданий (4 этажа), если глубина затопления  $h_3=3,27 \text{ м}$ , время затопления 4 ч, параметры русла реки, максимальной скорости потока воды при прохождении паводка (данные решения задачи примера 1).

Решение:

Определяем площадь затопления, согласно формуле (8):

$$S_3=5 \cdot 2,129=10,65 \text{ км}^2.$$

Количество населения, оказавшееся в зоне затопления, согласно формуле (9), составит:

$$N_{з \text{ нас.}} = \frac{10,65}{50} \cdot 50000 = 10650 \text{ чел.}$$

Санитарные потери, согласно формуле (10), составят:

$$N_{сан.}=0,05 \cdot 10650=533 \text{ чел.}$$

Долю поврежденных объектов в зоне затопления определяем по табл. 1, для чего рассчитываем максимальную скорость потока затопления по формуле (12):

$$V_3=V_{max} \cdot f=8,69 \cdot 1,01=8,78 \text{ м/с,}$$

$$\text{где } V_{max} = \frac{V_{max}}{S_{max}} = 3498/402,7=8,69 \text{ м/с;}$$

$$S_{max}=0,5 \cdot (a_0+b_0+2h \cdot ct \cdot gm) \cdot h_0=0,5 \cdot (80+100+2 \cdot 4,27 \cdot 2,5) \cdot 4=402,7 \text{ м}^2.$$

Значение параметра  $f=1,01$  определяется по табл. 2 при  $h_3/h=3,27/4,27=0,766$ .

Доля поврежденных объектов в зоне затопления составит при времени затопления 4 ч:

- затопление подвалов –  $60 \% \cdot 1,4=84 \%$ ;
- нарушение дорожного движения –  $75 \% \cdot 1,4=100 \%$ ;
- разрушение уличных мостовых –  $6 \% \cdot 1,4=8,4 \%$ ;
- смыв деревянных домов –  $90 \% \cdot 1,4=100 \%$ ;
- разрушение кирпичных зданий –  $40 \% \cdot 1,4=56 \%$ ;
- прекращение электропитания и связи –  $100 \%$ ;
- повреждение газо- и теплоснабжения –  $10 \% \cdot 1,4=14 \%$ .

Степени разрушения определяем по табл. 1 Приложение 4 [3] при  $V_3=8,78 \text{ м/с}$  и  $h_3=3,27 \text{ м}$ :

- сильные разрушения шоссежных дорог с асфальтовым и бетонным покрытием;
- сильные разрушения мостов;
- сильные разрушения деревянных домов;
- сильные разрушения кирпичных зданий.



3. Определяем требуемое количество спасательных групп, согласно формуле (12):

$$N_{cr}=0,0033 \cdot 10650=35.$$

Соответственно требуемое количество санитарных дружин согласно формуле (13) составит:

$$N_{cd}=0,0033 \cdot 533=2.$$

Таким образом, использование предлагаемой усовершенствованной методики выявления последствий наводнений методологически увязывается с методиками выявления последствий техногенных ЧС и упрощает процедуру расчета.

### **Литература**

1. Методические рекомендации по организации и проведению мероприятий, направленных на снижение последствий весеннего наводнения и паводков. М.: МЧС России. Департамент гражданской защиты, 2000.

2. Крюков Е.В., Бутенко В.М. Опасные природные явления: учеб.-метод. пособие. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2013.

3. Савчук О.Н. Безопасность жизнедеятельности. Выявление последствий чрезвычайных ситуаций мирного и военного времени: учеб. пособие. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2010.

4. Мастрюков Б.С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях в природно-техногенной сфере. Прогнозирование последствий: учеб. пособие. М.: Академия, 2011.