

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего профессионального образования**  
**«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ИМЕНИ ИМПЕРАТОРА ПЕТРА I»**

**Кафедра безопасности жизнедеятельности**

## **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

### **РАБОЧАЯ ТЕТРАДЬ**

**и методические указания**  
**для организации самостоятельной работы студентов**

**и выполнения расчетно-графических**  
**работ по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности»**  
**для обучающихся по всем направлениям и специальностям аграрного вуза**

Воронеж  
2016

Составители: сотрудники кафедры безопасности жизнедеятельности  
А.А. Андрианов, Е.А. Андрианов, Е.А. Высоцкая, В.И. Писарев

Рецензент: заведующий кафедрой механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции Яровой М.Н.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию на заседании кафедры БЖД (протокол №2 от 14.10.14 г.) и заседании методической комиссии агроинженерного факультета (протокол №2 от 30.10.14 г.).

## Оглавление

<b>1. Расчетно-графическая работа «Оценка уровней радиации с последующим использованием результатов измерений» .....</b>	<b>7</b>
Общие сведения .....	7
Приборы и оборудование .....	11
Задания .....	11
Отчет .....	14
<b>2. Расчетно-графическая работа «Прогнозирование масштабов возможного заражения от аварийно химически опасных веществ при авариях на химических объектах».....</b>	<b>18</b>
<b>Задание</b> .....	<b>18</b>
Общие сведения с расчетами по заданию .....	19
Приложение 2.1 .....	24
Приложение 2.2 .....	25
Приложение 2.3 .....	26
<b>3. Расчетно-графическая работа «Прогнозирование и оценка последствий наводнений»..</b>	<b>27</b>
Общие сведения .....	27
Задания .....	29
Отчет .....	31
Приложение 3.1 .....	34
Приложение 3.2 .....	35
Приложение 3.3 .....	35

## 1. Расчетно-графическая работа «Оценка уровней радиации с последующим использованием результатов измерений»

**Цель работы:** ознакомиться с анализом радиационной обстановки при катастрофической аварии на АЭС с разрушением реактора и ядерном взрыве, определить зоны радиационного заражения (ЧС), определить по результатам измерений возможные дозы облучения населения, эталонные уровни радиации, а также уяснить разницу в закономерностях спада уровней радиации от ядерных взрывов и аварий на АЭС.

### Общие сведения, методические указания.

Взрыв ядерного боеприпаса или взрыв на АЭС сопровождается образованием около 200 радионуклидов с периодом полураспада от десятых долей секунды до сотен лет. В продуктах взрыва ядерного боеприпаса больше радионуклидов с небольшим периодом полураспада и наоборот, в продуктах взрыва АЭС больше радионуклидов с длительным периодом полураспада. Спад уровней радиации при аварии на АЭС идет значительно медленнее, чем при ядерном взрыве, так как в реакторе происходит накопление долгоживущих радиоизотопов. Например, за 30 суток после аварии на АЭС уровень радиации уменьшается в 5 раз, а при ядерном взрыве - в 2000 раз. В общем случае спад уровня радиации (понятия, единицы измерения и соотношения между ними см. в приложении 1.1) описывается выражением:

$$P = P_0 t^{-k}, \quad (1.1)$$

где  $P$  - текущее значение уровня радиации,  $P/ч$ ;

$P_0$ - эталонный уровень радиации (уровень через 1 ч после взрыва),  $P/ч$ ;

$t$  - время, прошедшее от момента взрыва, ч;

$k$  - коэффициент, равный: 1,2 - при ядерном взрыве, 0,5 - при аварии на АЭС.

По формуле 1.1 можно определить уровень радиации на любое заданное время или по известному (измеренному) уровню радиации и времени, прошедшему от момента взрыва, определить эталонный уровень

$$P_0 = P t^k. \quad (1.2)$$

Также из формулы 1.1 можно рассчитать время спада уровня радиации до фонового значения 0,15 мкЗв/ч (15 мкР/ч):

$$\text{после ядерного взрыва } t_c = 10^{(0,83 \lg P_0 + 4)}, \quad (1.3)$$

$$\text{после аварии на АЭС } t_c = 10^{(2 \lg P_0 + 9,65)}. \quad (1.4)$$

Определяется возможное время начала выпадения радиоактивных веществ на территории объекта:

$$t_{\text{вып.}} = \frac{R}{3,6 \cdot V_{\text{об.}}}, \quad (1.5)$$

где  $R$  - расстояние от места аварии до объекта, км;  $V_{\text{об.}}$  - скорость движения радиоактивного облака, м/с.

### Зоны радиационного заражения

1. Зона отчуждения. К этой зоне относится местность с уровнем радиации  $P > 50 \text{ мР/ч}$  ( $0,05 \text{ Р/ч}$ ). Запрещается пребывание людей. Простирается она примерно на 30-40 км от места аварии.

2. Зона отселения. Зона с уровнем радиации  $P$  - от 20 до 50 мР/ч. Из этой зоны отселяются проживающие в ней люди.

3. Зона временного пребывания. Зона, где  $P$  - от 5 до 20 мР/ч. В этой зоне ограничивается пребывание людей. Простирается она примерно на расстояние от 50 до 70 км.

4. Зона радиационного контроля. Местность, где  $P$  - от 1 до 5 мР/ч. Устанавливается срок пребывания. Простирается зона примерно на расстояние от 70 до 100 км.

Ядерные взрывы и выбросы радиоактивных веществ на атомных станциях приводят к загрязнению местности радионуклидами. Зоны радиоактивного заражения на 1 ч после аварии на АЭС располагаются согласно рис. 1.2. Зоны загрязнения при ядерном взрыве представляют собой эллипсы и имеют другие характеристики (рис. 1.3). Для разработки режимов защиты и ведения сельскохозяйственного производства зоны А, Б, В разбиты на подзоны, характеристики которых представлены в табл. .

### Оценка радиационной обстановки

1. Степень опасности радиоактивного заражения определяется на основании данных радиационной разведки.

Средний уровень радиации за время пребывания в зоне:

$$P_{\text{ср.}} = \frac{P_{\text{н}} + P_{\text{к}}}{2}, \quad (1.6)$$

где  $P_{\text{н}}, P_{\text{к}}$  - уровни радиации в начале входа в зону заражения и в конце, при выходе, Р/ч.

2. Полученная при этом доза  $D$  (Р) радиоактивного излучения определяется по формуле

$$D = \frac{P_{\text{ср.}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}})}{K_{\text{осл.}}}, \quad (1.7)$$

где  $K_{\text{осл.}}$  - коэффициент ослабления радиации транспортом, зданием, укрытием, убежищем:

→  $K_{\text{осл.}} = 5$ ; - деревянный дом

→  $K_{\text{осл.}} = 15$ ; - каменное здание

→  $K_{\text{осл.}} = 500$ ; - ПРУ

→  $K_{\text{осл.}} = 1000$ . - убежище 4-го класса

$t_{\text{н}}, t_{\text{к}}$  - время входа (начала облучения) и выхода (конца облучения) из зоны заражения.

3. Допустимое время пребывания на зараженной местности  $t_{\text{доп.}}$ :

$$t_{\text{доп.}} = \frac{D_{\text{доп.}} \cdot K_{\text{осл.}}}{P_{\text{ср.}}}, \quad (1.8)$$

где  $D_{\text{доп.}}$  - заданное значение допустимой дозы облучения (15 Р), Р.

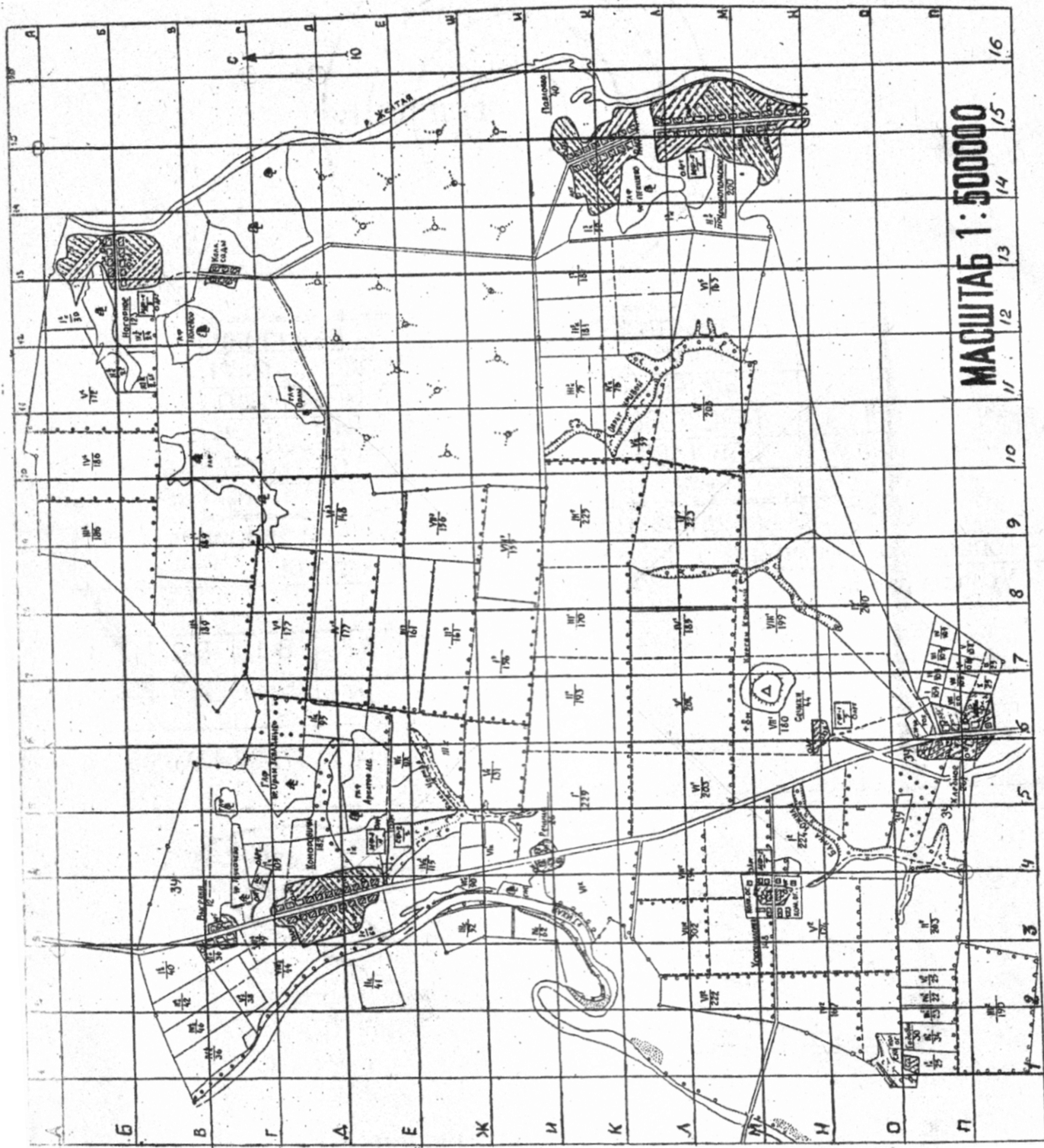


Рис. 1.1 Карта колхоза «Хлебный»

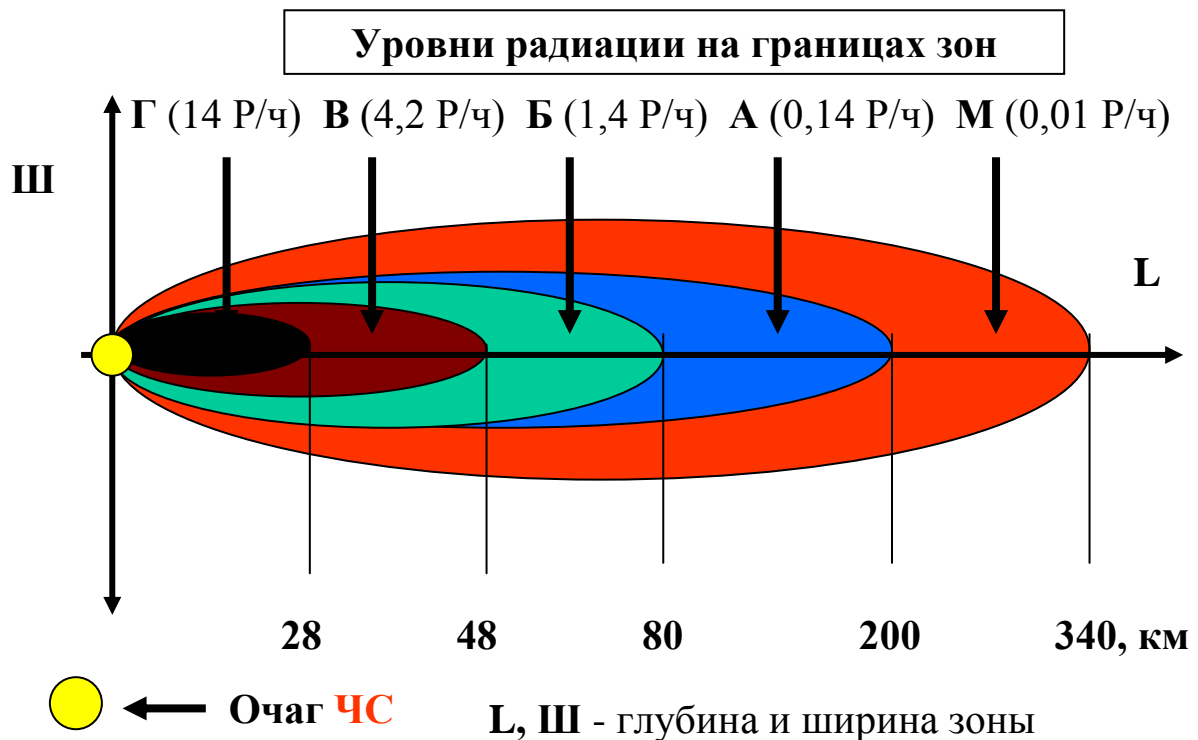


Рис. 1.2. Зоны радиоактивного заражения на 1 ч после аварии на АЭС: Г – чрезвычайно опасного, В - опасного, Б - сильного, А – умеренного, М – слабого

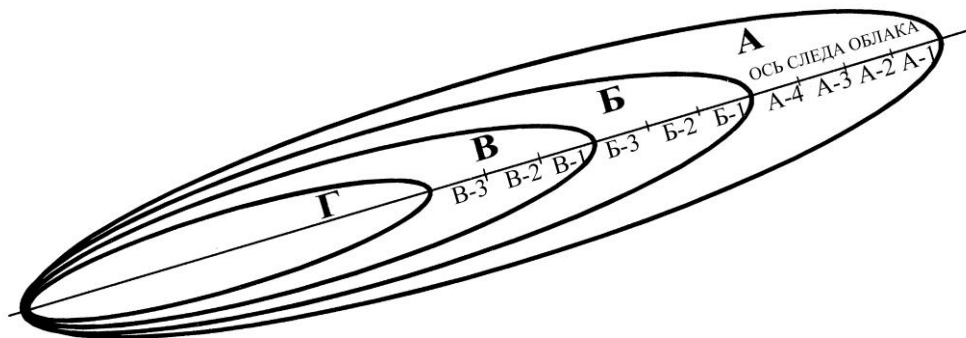


Рис. 1.3. Зоны радиоактивного загрязнения при ядерном взрыве

Таблица 1 - Зоны радиоактивного загрязнения

Уровень радиации	Подзона									
	A-1	A-2	A-3	A-4	Б-1	Б-2	Б-3	В-1	В-2	В-3
P/ч	8	20	40	60	80	120	160	240	600	800
$10^{-7} \text{Кл}^*(\text{кгс})^{-1}$	5,73	14,3	28,6	43,8	57,3	85,9	114,5	171,8	430	573

## **Приборы и оборудование**

1. Стенд с картой землепользований коллективного хозяйства "Хлебный".
2. Карты коллективного хозяйства "Хлебный" для индивидуального пользования (рис.1.1).

3. Дозиметр ДП-5В.

**Стенд** с картой коллективного хозяйства "Хлебный" служит для имитации радиоактивного загрязнения земель и имеет координатную сетку для фиксации контролируемых точек.

**Карты** хозяйства "Хлебный" предназначены для записи результатов измерений по индивидуальному заданию.

**Дозиметр ДП-5В** предназначен для измерения уровней гамма-излучения и радиоактивной зараженности различных предметов по гамма-излучению. Кроме того, имеется возможность обнаружения бета-излучения. Прибор имеет звуковую сигнализацию для оценки интенсивности гамма-излучения. Для расширения пределов измерения дозиметр имеет 6 диапазонов с пределами от 0,05-0,5 мР/ч до 5-200 Р/ч.

Обеспечивает измерения в интервале температур от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  при погружении зонда в воду на глубину до 50 см, в пыльных условиях и при дожде - 3-7 мм/мин. Основная погрешность измерения в нормальных климатических условиях не превышает  $\pm 30\%$  от измеряемой величины. Отсчет показаний прибора производится через 45 с после начала измерений. Прибор состоит из измерительного пульта, зонда с гибким кабелем и раздвижной удлинительной штанги. К нему также прилагаются наушники (для звуковой индикации) и делитель напряжения. На пульте управления расположены стрелочный указатель, переключатель диапазонов, кнопка СБРОС и тумблер ОСВ. Кнопкой СБРОС стрелку указателя устанавливают на нуль перед каждым измерением. Тумблером ОСВ включают подсветку шкалы (если необходимо). Переключатель диапазонов на нашем приборе ДП-5В установлен на диапазон 5-200 Р/ч, а ручка снята, так как в работе все измерения производятся только на этом диапазоне.

На зонде имеется подвижный экран с окном обнаружения  $\beta$ -излучения; при измерениях окно экрана совмещается с неподвижным окном в зонде.

### Порядок работы с дозиметром ДП-5В

**Измерение  $\gamma$ -излучения.** Установите индекс Г подвижного экрана против неподвижного окна в зонде. Включите прибор, установите зонд на расстоянии 1-1,5 см от контролируемой поверхности (для этого на зонде есть опорные выступы) и примерно через 45 с нажмите и отпустите кнопку СБРОС. Дальше фиксируйте показания прибора не чаще чем через 45 с.

**Обнаружение  $\beta$ -излучений.** Поверните подвижный экран и установите индекс Б против неподвижного окна в зонде. В этом положении измеряется мощность дозы суммарного  $\gamma$ - $\beta$ -излучения. Включите прибор. Увеличение показаний прибора по сравнению с  $\gamma$ -измерением показывает на наличие  $\beta$ -излучения.

## **Задания**

1. Считать, что радиоактивные осадки выпали от взрыва: а) на АЭС; б) ядерного боеприпаса. В связи с этим для двух случаев:

1) измерить дозиметром ДП-5В уровни радиации на карте коллективного хозяйства "Хлебный" стенда по варианту таблиц №2, 3, результаты нанести на индивидуальные карты и внести в таблицу 4 отчета; выбрать максимальный уровень радиации, внести в таблицу 5 отчета и использовать его для дальнейших расчетов; результаты нанести на индивидуальные карты; определить зоны загрязнения;

2) определить эталонные уровни радиации в точках измерения, если результаты получены сразу после входа в зону, а начало аварии - в  $12^{00}$  ч.;

3) рассчитать время спада уровня радиации от максимального значения, полученного при измерениях, до фонового 15 мкР/ч;



4) рассчитать по эталонному уровню кривые спада уровней радиации до фонового значения; построить графики и сравнить интенсивность их протекания.

Таблица 2 - Исходные данные

	Вариант													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Координаты точек	12Н	13Ж	10Н	6Л	5Н	1Ж	3П	9Е	1К	4Н	9В	10В	4К	12Н
	8Н	12Е	9Н	5Л	3Н	5Г	5П	9Н	2Н	3К	10Б	11Б	3К	11Б
	9М	13К	10Л	8К	6М	8Д	7Н	9Ж	3Ж	2Л	11Б	12А	1Н	14Л
	5Р	7Г	12К	9Н	8Л	3Г	8М	9К	4Е	5Ж	2М	9Г	5Н	9Г
	7О	11Д	8О	3М	9К	14К	11Л	9Г	5Д	6Е	3Л	8Д	2М	10В
	10Н	14Н	7П	4М	12И	11Н	10Л	8В	6Г	7Д	4К	7Е	6Ж	13М
	6П	3В	6П	2Н	13Л	6Л	15К	9Д	7В	8Г	5И	6Ж	7Е	8Д

Продолжение таблицы 2

	Вариант													
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Координаты точек	5Ж	12А	7Ж	8Ж	12Г	6М	1А	3В	5Л	4Н	7А	5Г	3Ж	5Е
	6Е	11Б	8Е	9Е	11Д	5Н	5Б	4Е	6К	3О	6Б	6В	4Е	6Д
	7Д	10В	9Д	10Д	13В	7Л	6Д	7Н	7И	2П	5В	4Д	5Д	10А
	8Г	9Г	10Г	11Г	10Е	8К	7О	7К	4М	5М	1Ж	7Б	6Г	7Г
	9В	8Д	11В	12В	14Б	4О	11В	9Н	3Н	6Л	2Е	3Е	7В	8В
	10Б	7Е	12Б	13Б	9Ж	9И	12В	12М	2О	7К	3Д	8А	8Б	9Б
	11А	6Ж	13А	14А	15А	3П	14Л	14М	1П	8И	4Г	2Ж	9А	4Ж

Таблица 3 - Исходные данные

Наименование	Вариант											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Координаты	П15	Л1	П4	А15	Д16	О13	Д11	И12	Н4	П13	А3	Ж6
Направление движения РО	С	В	С	Ю	З	С	ЮВ	ЮЗ	СВ	СЗ	Ю	Ю
Время входа в зону $t_{н}$ , ч	17 <sup>00</sup>	18 <sup>00</sup>	18 <sup>30</sup>	19 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>	17 <sup>30</sup>	18 <sup>30</sup>	18 <sup>30</sup>	19 <sup>30</sup>	15 <sup>30</sup>	14 <sup>00</sup>	21 <sup>00</sup>
Время выхода из зоны $t_{к}$ , ч	17 <sup>30</sup>	20 <sup>00</sup>	21 <sup>00</sup>	22 <sup>00</sup>	23 <sup>30</sup>	18 <sup>30</sup>	20 <sup>00</sup>	20 <sup>30</sup>	24 <sup>00</sup>	16 <sup>00</sup>	14 <sup>30</sup>	24 <sup>00</sup>
Скорость движения РО, м/с	1	3	2	4	2	1	3	4	1	4	2	3

Наименование	Вариант											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Координаты	Л4	И13	Д10	К7	П11	Б1	Г16	К11	Г11	Е9	Г15	Ж6
Направление движения РО	С	С	З	В	З	В	ЮЗ	ЮЗ	СВ	СВ	СЗ	СЗ
Время входа в зону $t_n$ , ч	22 <sup>00</sup>	23 <sup>00</sup>	24 <sup>00</sup>	22 <sup>30</sup>	23 <sup>30</sup>	22 <sup>30</sup>	17 <sup>30</sup>	19 <sup>00</sup>	24 <sup>00</sup>	18 <sup>30</sup>	19 <sup>30</sup>	21 <sup>00</sup>
Время выхода из зоны $t_k$ , ч	2 <sup>30</sup>	4 <sup>00</sup>	1 <sup>00</sup>	23 <sup>00</sup>	24 <sup>00</sup>	24 <sup>30</sup>	18 <sup>30</sup>	20 <sup>30</sup>	24 <sup>30</sup>	19 <sup>00</sup>	20 <sup>30</sup>	22 <sup>30</sup>
Скорость движения РО, м/с	2	2	3	4	4	1	1	3	1	3	3	2

Обозначения: РО – радиоактивное облако;  $t_n$ ,  $t_k$  – время начала и конца облучения; СВ, СЗ, ЮВ, ЮЗ – северо-восток, северо-запад, юго-восток, юго-запад; Ю, С, В, З – юг, север, восток, запад.

2. Определить возможное время начала выпадения радиоактивных веществ на территории объекта, считая, что радиоактивное облако движется из заданной точки в заданном направлении с заданной скоростью, для чего определить по карте расстояние R от точки до объекта.

3. Определить дозу, которую получит человек за время пребывания в заданной точке (по результатам измерений). Считать, что измерения проведены в момент выпадения радиоактивных осадков: 1) при аварии на АЭС; 2) при ядерном взрыве сразу после входа в зону, а начало аварии произошло в 12<sup>00</sup> ч.





**Полученная доза облучения человека на территории зоны, Р:**

$$D_{отк}^я = \frac{P_{cp}^я t_з}{K_{осл}} = \qquad D_{отк}^a = \frac{P_{cp}^a t_з}{K_{осл}} =$$

**Полученная доза облучения человека в деревянном доме, Р:**

$$D_{д}^я = \frac{P_{cp}^я t_з}{K_{осл}} = \qquad D_{д}^a = \frac{P_{cp}^a t_з}{K_{осл}} =$$

**Полученная доза облучения человека в каменном здании, Р:**

$$D_{зд}^я = \frac{P_{cp}^я t_з}{K_{осл}} = \qquad D_{зд}^a = \frac{P_{cp}^a t_з}{K_{осл}} =$$

**Полученная доза облучения человека в укрытии, Р:**

$$D_{укр}^я = \frac{P_{cp}^я t_з}{K_{осл}} = \qquad D_{укр}^a = \frac{P_{cp}^a t_з}{K_{осл}} =$$

**Допустимое время пребывания человека на территории, ч:**

$$t_{отк}^я = \frac{D_{доп} K_{осл}}{P_{cp}^я} = \qquad t_{отк}^a = \frac{D_{доп} K_{осл}}{P_{cp}^a} =$$

### Понятия и определения в радиационной безопасности

**Радионуклид** - неустойчивый изотоп химического элемента, процесс распада ядер которого сопровождается ионизирующим излучением.

**Активность радионуклида** - мера радиоактивности, равная количеству распадов ядер в единицу времени. Один распад в секунду равен 1 беккерелю (Бк). Внесистемная единица - кюри =  $37 \cdot 10^9$  Бк (это активность 1 г радия 226, первого вещества, в котором были изучены законы радиоактивного распада).

**Доза** - энергия, переданная излучением массе вещества (характеризует ионизирующую способность радиоактивных излучений). Единица измерения - джоуль на 1 кг (Дж/кг).

**Мощность дозы** - это энергия ионизации в единицу времени: Дж/кг · с. Внесистемная единица - Р/ч.

**Экспозиционная доза** - энергия, характеризующая ионизирующую способность излучений в воздухе. Единица измерения Кл/кг - это энергия  $\gamma$ - и рентгеновского излучения, при которой в 1 кг сухого воздуха образуются ионы, несущие заряд в 1 кулон (Кл) электричества каждого знака. Внесистемная единица - рентген (Р).

**Рентген** - такая экспозиционная доза, при которой в 1 см<sup>3</sup> воздуха образуется  $2,08 \cdot 10^9$  пар ионов. Для получения экспозиционной дозы в 1 Р на ионизацию 1 г воздуха затрачивается  $87,3 \cdot 10^{-7}$  Дж энергии (это энергетический эквивалент рентгена).  $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4}$  Кл/кг.

**Поглощенная доза** - энергия излучения, поглощенная массой вещества. Единица измерения - грей (Гр), внесистемная - рад (rad), по первым буквам английского словосочетания "radiation absorbet dose" - поглощенная доза излучения. 1 рад соответствует такой поглощенной дозе, при которой количество энергии, выделяющейся 1 г вещества, равно 100 эрг независимо от вида ионизирующего излучения;  $1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/г} = 0,01 \text{ Дж/кг} = 6,25 \text{ МэВ/г} = 0,01 \text{ Гр}$ .

**Эквивалентная доза** - поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на взвешивающий коэффициент (К) для данного излучения. Введена для учета биологической эффективности различных ионизирующих излучений в зависимости от значения коэффициента качества излучения (К). Для  $\beta$ -,  $\gamma$ - и рентгеновского излучений  $K = 1$ ,  $\alpha$ -частиц -  $K = 20$ , нейтронов различных энергий -  $K = 5-20$ . Единица измерения зиверт (Зв), внесистемная - биологический эквивалент рентгена (бэр).  $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр/К} = 100 \text{ бэр} = 100 \text{ рад/К}$ .

**Эффективная доза** - эквивалентная доза, умноженная на взвешенный коэффициент для данного органа или ткани (легкие, желудок, костный мозг, толстый кишечник - 0,12; мочевой пузырь, грудная железа, печень, пищевод, щитовидная железа, головной мозг, почки, тонкий кишечник, селезенка, поджелудочная железа - 0,05; кожа, клетки костных поверхностей - 0,01; гонады - 0,2).

**Плотность загрязнения** - активность единицы загрязненной поверхности. Единица измерения - Бк/м<sup>2</sup>, внесистемная - Ки/км<sup>2</sup>.

**Уровень радиации** - мощность экспозиционной дозы облучения на расстоянии 1 м от поверхности объекта. Единица измерения - Кл/(кг · °С), внесистемная - Р/ч.

**2. Расчетно-графическая работа «Прогнозирование масштабов возможного заражения от аварийно химически опасных веществ при авариях на химических объектах»**

**Цель работы:** научиться рассчитывать глубину, площадь зоны возможного заражения, время от аварии до начала заражения, длительность поражающего действия аварийно химически опасных веществ (АХОВ) и наносить зоны заражения на топографические карты или схемы.

**Задание**

В колхозе "Хлебный" произошла утечка ядовитого вещества. Оценить химическую обстановку по варианту табл. 2.1 через 1 ч во всех селениях колхоза. Найти возможную глубину, площадь зоны заражения, запас времени до подхода зараженного облака к селам и длительность поражающего действия. Нанести на карту колхоза (см. приложения) границу зоны заражения через 0,5 ч, 1 и 1,5 ч. Исследовать, как повлияло бы на химическую обстановку время суток, изменения температуры на  $\pm 10$  и  $\pm 20^\circ\text{C}$ , а также скорости ветра до 10 и 20 км/ч. Недостающими параметрами задаться.

Таблица 2.1

**Исходные данные**

Вариант	Точка	Q <sub>0</sub> , т	t <sub>в</sub> , °C	Ветер		Время утечки	Сезон	Погода
				направление	v, км/ч			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Б-1	800	20	юго-восток	39,6	утро	л	я
2	Б-4	100	-20	юг	3	вечер	з	с.о.
3	Б-2	400	20	восток	7,2	ночь	о	п.о.
4	В-2	350	-20	юго-восток	7,2	утро	з	я
5	Л-4	300	10	север	10,8	день	в	с.о.
6	Л-5	100	10	северо-восток	14,2	утро	з	п.о.
7	А-15	200	10	юг	14,2	вечер	л	я
8	Б-1	80	10	восток	17,8	ночь	з	с.о.
9	Е-13	700	30	север	2	день	о	п.о.
10	Л-6	650	20	восток	3,5	вечер	л	с.о.
11	Д-6	150	20	юг	7,2	вечер	л	я
12	П-3	550	30	северо-восток	7,2	утро	в	п.о.
13	П-1	500	30	восток	17,8	ночь	л	я
14	Ж-1	250	20	северо-восток	21,6	вечер	о	п.о.
15	П-13	750	-20	северо-запад	3,3	день	о	с.о.
16	П-12	150	-10	северо-запад	21,6	утро	з	п.о.
17	Н-11	100	20	северо-запад	43,2	вечер	л	п.о.
18	О-12	150	10	северо-запад	50,4	ночь	о	я
19	Д-16	500	-10	запад	50,4	день	о	с.о.
20	И-12	300	-10	юго-запад	56	вечер	в	п.о.
21	Д-14	350	-10	запад	7,2	утро	в	с.о.
22	Л-10	450	-10	восток	1	ночь	з	п.о.
23	Л-2	680	20	восток	1,5	вечер	о	я
24	П-13	900	10	запад	1,8	день	о	п.о.
25	Д-1	250	10	Восток	2,5	день	В	я
26	Л-10	150	10	Восток	7,2	вечер	В	я.о.
27	П-4	180	20	Север	21,6	ночь	Л	п.о.
28	Н-3	250	20	Северо-восток	39,6	утро	Л	п.о.

*Примечания: вариант соответствует порядковому номеру вещества в приложении 2.1; сокращения: о - осень; л - лето; з - зима; в - весна; с.о. - сплошная облачность; п.о. - переменная облачность; об - облачность; я - ясно.*

### **Общие сведения с расчетами по заданию, методические указания**

В сельском хозяйстве и промышленности широко используют ядовитые вещества. Особую опасность для человека представляют АХОВ. Наиболее применяющиеся АХОВ и их характеристики представлены в приложении 2.1. Эти вещества хранятся, применяются и транспортируются с соблюдением определенных мер безопасности. Однако всегда существует вероятность аварий, разлива или выброса ядовитых веществ в атмосферу.

При аварии (разрушении емкости или продуктопровода) часть веществ в виде пара или аэрозолей выбрасывается в атмосферу и получившееся облако (первичное облако) распространяется по ветру, заражая воздух и окрестности. Жидкие АХОВ, кроме первичного, образуют вторичное облако в результате испарения разлившегося вещества.

Распространение ядовитого облака зависит от вертикальной устойчивости атмосферы: конвекции, инверсии и изотермии (приложение 2.2). При конвекции воздушные массы перемещаются от земли вверх, при инверсии - наоборот, при изотермии они неподвижны.

Алгоритм прогнозирования глубины зоны возможного заражения АХОВ при аварийном выбросе следующий.

1. Определяется эквивалентное количество вещества по первичному облаку (под эквивалентным понимается такое количество хлора, масштаб заражения которым при инверсии эквивалентен масштабу заражения при данных метеоусловиях этим веществом, перешедшим в первичное или вторичное облако).

$$Q_{01} = k_1 k_3 k_5 k_7 Q_0, \quad (8)$$

где  $Q_{01}$  - эквивалентное количество вещества по первичному облаку, т;

$k_1$  - коэффициент, зависящий от условий хранения АХОВ (см. приложение 2.1), для сжатых газов  $k_1 = 1$ ;

$k_3$  - коэффициент, равный отношению пороговых токсодоз хлора и данного АХОВ (приложение 2.1);

$k_5$  - коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости воздуха (см. приложение 2.2): для инверсии -  $k_5 = 1$ , для изотермии -  $k_5 = 0,23$ , для конвекции -  $k_5 = 0,08$ ;

$k_7$  - коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха (см. приложение 2.1), для сжатых газов  $k_7 = 1$ ;

$Q_0$  - количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества, т.

Если нет реальных данных о величине  $Q_0$ , то принимают, что разрушается полностью емкость с максимальным содержанием АХОВ, метеоусловия - инверсия, скорость ветра 1 м/с.

При авариях емкостей со сжатым газом

$$Q_0 = d \cdot V_x, \quad (9)$$

где  $d$  - плотность АХОВ, т/м<sup>3</sup> (см. приложение 2.1);

$V_x$  - объем разрушенного хранилища, м<sup>3</sup>.

При авариях на газопроводе

$$Q_0 = 0,01 \cdot n \cdot d \cdot V_r, \quad (10)$$

где  $n$  - содержание АХОВ в природном газе, %;

$V_r$  - объем секции газопровода между автоматическими отсе-кателями, м<sup>3</sup>.



2. Определяется эквивалентное количество вещества по вторичному облаку

$$Q_{\text{Э2}} = \frac{(1 - k_1) k_2 k_3 k_4 k_5 k_6 k_7 Q_0}{h \cdot d}, \quad (11)$$

где  $k_2$  - коэффициент, зависящий от физико-химических свойств АХОВ (см. приложение 2.1);

$$k_4 = 1 + 0,0925(v - 3,6); \quad (12)$$

$v$  - скорость ветра, км/ч, рассчитывается от 3,6 км/ч;

$k_4 = 1$  при  $v < 3,6$  км/ч;

$k_6$  - коэффициент, зависящий от времени, прошедшего после начала аварии;

$\tau$  - время, прошедшее после начала аварии;

$h$  - толщина слоя разлившегося АХОВ, м.

$$k_6 = \tau^{0,8} \text{ при } \tau < T; k_6 = T^{0,8} \text{ при } \tau > T. \quad (13)$$

Если  $T < 1$  ч, то  $k_6 = 1$ .

$$T = \frac{h d}{k_2 k_4 k_7^{\text{BT}}}, \quad (14)$$

где  $T$  - длительность испарения разлившегося АХОВ, ч.

Величина  $h$  принимается из следующих данных:

разлив свободный на подстилающую поверхность  $h = 0,05$  м;

разлив из емкости в поддон или обваловку, высотой  $H$  (м)

$$h = H - 0,2; \quad (15)$$

разлив из группы емкостей, имеющих общий поддон или обваловку,

$$h = \frac{Q_0}{F d}, \quad (16)$$

где  $F$  - реальная площадь разлива, м<sup>2</sup>.

**Значения коэффициентов и расчетные параметры по заданию №.....для вещества.....**

$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_6$	$k_7$	$Q_{\text{Э1}}$	$Q_{\text{Э2}}$

**Расчеты:**  $k_4 =$

$k_6 =$

$T =$

$Q_{\text{Э2}} =$

$Q_{\text{Э1}} =$

3. Находят глубину зоны заражения первичным ( $\Gamma_1 =$  ) и вторичным ( $\Gamma_2 =$  ) облаком по приложению 2.3.

Если  $Q_3$  не соответствует табличному, то глубину зоны заражения можно определить интерполированием по выражению 17.

$$\Gamma = A + \frac{(B - A)(c - a)}{(b - a)}, \quad (17)$$

где  $A, B$  - глубина зоны заражения соответственно для меньшего ( $a$ ) по таблице и большего ( $b$ ) сравнительно с расчетным ( $c$ ) эквивалентного количества АХОВ.

*Пример:*  $Q_3 = 20$  т (то есть  $c = 20$ ), скорость ветра = 7,2 км/ч, тогда  $a = 10$  м,  $b = 100$  м,  $A = 10,83$ ,  $B = 44,09$  и  $\Gamma = 14,99$ .

4. Рассчитывается полная глубина зоны заражения ( $\Gamma$ ), обусловленная воздействием первичного и вторичного облака:

$$\Gamma = \Gamma' + 0,5\Gamma'', \quad (18)$$

где  $\Gamma'$  и  $\Gamma''$  - соответственно наибольший и наименьший из размеров  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$ . Если  $\Gamma_1 = 0$ , то  $\Gamma = \Gamma_2$

5. Сравнивается с предельно возможной зоной ( $\Gamma_n$ ) и за окончательную глубину ( $\Gamma_o$ ) принимается меньшее из двух сравниваемых значений:  $\Gamma_o = \Gamma$ , если  $\Gamma < \Gamma_n$ ;  $\Gamma_o = \Gamma_n$ , если  $\Gamma_n < \Gamma$ .

$$\Gamma_n = \tau \cdot V, \quad (19)$$

где  $V = kv$  - скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха при данных скорости ветра и степени вертикальной устойчивости воздуха, км/ч;

$v$  - скорость ветра, км/ч;

$k$  - коэффициент, зависящий от степени вертикальной устойчивости атмосферы:

$k = 1,43$  - инверсия;

$k = 1,63$  - изотермия;

$k = 1,94$  - конвекция.

**Расчеты:**  $V =$

$\Gamma_n =$

Окончательная глубина:  $\Gamma_o =$

Площадь зоны заражения в опасных для жизни пределах определяется по следующим выражениям:

$$\text{возможное заражение} \quad S_B = \frac{8,72 \cdot \Gamma_o^2 \cdot \varphi}{1000}, \quad (20)$$

где  $S_B$  - площадь зоны возможного заражения, км<sup>2</sup>;

$\varphi$  - угловые размеры зоны возможного заражения, град, определяемые по таблице

2.2;

Таблица 2.2

**Угловые размеры зоны возможного заражения**

$v$ , км/ч	<1,80	2,16-3,60	3,96-7,20	>7,20
$\varphi$ , град	360	180	90	45

фактическое заражение через заданное время  $\tau$

$$S_\Phi = k_B \cdot \Gamma_o^2 \cdot \tau^{0,2}, \quad (21)$$

где  $S_\Phi$  - площадь фактического заражения, км<sup>2</sup>;

$k_B$  - коэффициент, зависящий от степени вертикальной устойчивости воздуха:  $k_B = 0,081$  - при инверсии,  $k_B = 0,133$  - при изотермии,  $k_B = 0,235$  - при конвекции.

Время ( $t$ ) подхода зараженного воздуха к защищаемому по прогнозу объекту

$$t = \frac{x}{k v}, \quad (22)$$

где  $x$  - расстояние от источника заражения до объекта, км.

Длительность поражающего действия АХОВ определяется по выражению 14. Если она превышает 4 ч, то по истечении этого времени прогноз обстановки уточняется с учетом возможного изменения степени вертикальной устойчивости воздуха, направления и скорости ветра.

На топографические карты и схемы зона заражения наносится в виде окружности, полуокружности или сектора с центром в точке аварии, радиусом  $\Gamma_o$  и углом  $\varphi$  (см. табл. 2.2), располагаемым симметрично относительно направления ветра. При скорости до 1,8 км/ч направление ветра не имеет значения, а зона представляет окружность.

**Расчеты:**  $S_B =$

$S_\Phi =$

$t =$

**Анализ границ зон заражения от времени после аварии:**

$\tau, \text{ч}$	$T, \text{ч}$	$K_6$	$Q_{Э1}$	$Q_{Э2}$	$\Gamma_1, \text{км}$	$\Gamma_2, \text{км}$	$\Gamma_0, \text{км}$	$S_{\phi}, \text{км}^2$
0,5								
1								
1,5								
2								

$S_{\phi}, \text{км}^2$


0,5      1      1,5      2       $\tau, \text{ч}$

**Анализ влияния температуры воздуха на границы зоны заражения:**

$t_B, \text{°C}$	$K_7$	$Q_{Э1}, \text{т}$	$Q_{Э2}, \text{т}$	$T, \text{ч}$	$\Gamma_1, \text{км}$	$\Gamma_2, \text{км}$	$\Gamma_0, \text{км}$	$S_{\phi}, \text{км}^2$
-20								
-10								
0								
10								
20								

$S_{\phi}, \text{км}^2$


-20      -10      0      10      20       $t_B, \text{°C}$

**Анализ влияния скорости ветра на границы зоны заражения:**

$v$ , км/ч	Степень вертикальной устойчивости	$k$	$k_B$	$K_5$	$K_4$	$Q_1$	$Q_2$	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$	$\Gamma_0$ , км	$S_{\phi}$ , км <sup>2</sup>
10											
20											
30											

$S_{\phi}, \text{км}^2$


10                      20                      30                       $v$ , км/ч

**Выводы о влиянии на величину площади заражения: времени, прошедшего после аварии, температуры воздуха, скорости ветра**

Приложение 2.1

Характеристики АХОВ и вспомогательные коэффициенты для определения глубин зон заражения

№ пп	АХОВ	Плотность АХОВ, т/м <sup>3</sup>		Темпе- ратура кипения, °С	Пороговая токсодоза, мг·мин/л
		газ	жидкость		
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
1	Акролеин	-	0,839	52,7	0,2*
2	Аммиак: хранение под давлением	0,0008	0,681	-38,42	15
3	изотермич. хранение	-	0,681	-38,42	15
4	Водород: мышьяковистый	0,0035	1,64	-62,47	0,2**
5	фтористый	-	0,989	19,52	4
6	хлористый	0,0016	1,191	-85,10	2
7	бромистый	0,0036	1,490	-66,77	2,4*
8	Диметиламин	0,0020	0,680	6,9	1,2*
9	Метиламин	0,0014	0,699	-6,5	1,2*
10	Метил бромистый	-	1,732	3,6	1,2*
11	Метил хлористый	0,0023	0,983	-23,76	10,8*
12	Метилакрилат	-	0,953	80,2	6*
13	Метилмеркаптан	-	0,867	5,95	1,7**
14	Окислы азота	-	1,491	21,0	1,5
15	Сернистый ангидрид	0,0029	1,462	-10,1	1,8
16	Сероводород	0,0015	0,964	-60,35	16,1
17	Сероуглерод	-	1,263	46,2	45
18	Соляная кислота	-	1,198	-	2
19	Формальдегид	-	0,815	-19,0	0,6*
20	Фосген	0,0035	1,432	8,2	0,6
21	Фтор	0,0017	1,512	-188,2	0,2*
22	Хлор	0,0032	1,558	-34,1	0,6
23	Хлорпикрин	-	1,658	112,3	0,02
24	Хлорциан	0,0021	1,220	12,6	0,75

Продолжение по горизонтали прил. 2.1

№ пп	Значения вспомогательных коэффициентов							
	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>7</sub> для, °С				
				-40	-20	0	20	40
<i>1</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
1	0	0,013	0,75	0,1	0,2	0,4	1	2,2
2	0,18	0,025	0,04	0/0,9	0,3/1	0,6/1	1/1	1,4/1
3	0,01	0,025	0,04	0/0,9	1/1	1/1	1/1	1/1
4	0,17	0,054	0,875	0,3/1	0,5/1	0,8/1	1/1	1,2/1
<i>1</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
5	0	0,028	0,15	0,1	0,2	0,5	1	1
6	0,28	0,037	0,30	0,64/1	0,6/1	0,8/1	1/1	1,2/1
7	0,13	0,055	6,0	0,2/1	0,5/1	0,8/1	1/1	1,2/1
8	0,06	0,041	0,5	0/0,1	0/0,3	0/0,8	1/1	2,5/1
9	0,13	0,034	0,5	0/0,3	0/0,7	0,5/1	1/1	2,5/1

10	0,04	0,039	0,5	0/0,2	0/0,4	0/0,9	1/1	2,3/1
11	0,125	0,044	0,56	0/0,5	0,1/1	0,6/1	1/1	1,5/1
12	0	0,005	0,025	0,1	0,2	0,4	1	3,1
13	0,06	0,044	0,353	0/0,1	0/0,3	0/0,8	1/1	2,4/1
14	0	0,040	0,4	0	0	0,4	1	1
15	0,11	0,049	0,333	0/0,2	0/0,5	0,3/1	1/1	1,7/1
16	0,27	0,042	0,036	0,3/1	0,5/1	0,8/1	1/1	1,2/1
17	0	0,021	0,013	0,1	0,2	0,4	1	2,1
18	0	0,021	0,30	0	0,1	0,3	1	1,6
19	0,19	0,034	1,0	0/0,4	0/1	0,5/1	1/1	1,5/1
20	0,05	0,061	1,0	0/0,1	0/0,3	0/0,7	1/1	2,7/1
21	0,95	0,038	3,0	0,7/1	0,8/1	0,9/1	1/1	1,1/1
22	0,18	0,052	1,0	0/0,9	0,3/1	0,6/1	1/1	1,4/1
23	0	0,002	30,0	0,03	0,1	0,3	1	2,9
24	0,04	0,048	0,80	0/0	0/0	0/0,6	1/1	3,9/1

Примечания: 1. Значения  $K_7$  в числителе для первичного, в знаменателе для вторичного облака. 2. Токсодозы (ПД), помеченные звездочками, определены ориентировочно по соотношению ПД = 240К·ПДК; ПДК по ГОСТу 12..1.005, мг/л; К = 5 для раздражающих (помечены одной звездочкой), К = 9 для всех прочих АХОВ.

## Приложение 2.2

### Степень вертикальной устойчивости воздуха при разных погодных условиях

Скорость ветра, км/ч	Ночь		Утро		День		Вечер	
	1	2	1	2	1	2	1	2
<7,2	ИН	И	И(ИН)	И	К(Н)	И	ИН	И
7,2-14,4	ИН	И	И(ИН)	И	И	И	И(ИН)	И
>14,4	И	И	И	И	И	И	И	И

Примечания: 1) Обозначения: ИН – инверсия; И – изотермия; К – конвекция; в скобках – при снежном покрове; 1 – ясно, переменная облачность; 2 – сплошная облачность; 2) Область распространения терминов: утро – 2 ч после восхода солнца; вечер – 2 ч после захода солнца; день – от утра до захода солнца; ночь – от вечера до восхода солнца.

Глубины зон возможного заражения АХОВ, км

Скорость ветра, км/ч	Эквивалентное количество АХОВ, т						
	0,01	1	10	100	300	500	1000
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
<3,6	0,38	4,75	19,20	81,91	166	231	363
7,2	0,26	2,84	10,83	44,09	87,79	121	189
10,8	0,22	2,17	7,96	31,30	61,47	84,50	130
14,2	0,19	1,88	6,46	24,80	48,18	65,92	101
17,8	0,17	1,68	5,53	20,82	40,11	54,67	83,60
21,6	0,15	1,53	4,88	18,13	34,67	47,09	71,70
25,2	0,14	1,42	4,49	16,17	30,73	41,63	63,16
28,8	0,13	1,33	4,20	14,68	27,75	37,49	56,70
32,4	0,12	1,25	3,96	13,50	25,39	34,24	51,60
36,0	0,12	1,19	3,76	12,54	23,49	31,61	47,53
39,6	0,11	1,13	3,58	11,74	21,91	29,44	44,15
43,2	0,11	1,08	3,43	11,06	20,58	27,61	41,30
46,8	0,10	1,04	3,29	10,48	19,45	26,04	38,90
50,4	0,10	1,00	3,17	10,04	18,46	24,69	36,81
>54	0,10	0,97	3,07	9,70	17,60	23,50	34,98

### 3. Расчетно-графическая работа «Прогнозирование и оценка последствий наводнений».

**Цель работы:** ознакомиться с классификацией и причинами возникновения наводнений, научиться по сечению русла реки определять высоту подъема уровня воды в реке при прохождении паводка (половодья) и максимальную скорость затопления, уметь оценить наносимый ущерб от различных по тяжести наводнений, а также уяснить зависимость подъема уровня воды при прохождении паводка от начальной скорости воды в реке и площади выпавших осадков (таяния снега).

#### Общие сведения, методические указания

Под наводнением понимается затопление водой прилегающей к реке, озеру или водохранилищу местности, которое причиняет материальный ущерб, наносит урон здоровью населения или приводит к гибели людей. Затопление местности, не сопровождающееся материальным ущербом, считается разливом реки, озера или водохранилища.

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

Наводнение может быть вызвано таянием снега (половодье), выпадением большого количества осадков (паводок), затруднениями стока воды вследствие зажоров, заторов и завалов (запорные и завальные наводнения), действием ветра (напорные наводнения) и т.п.

Схематически сечение русла реки можно представить либо треугольным (рис.3.1,а), либо трапецидальным (рис.3.1,б).

Расход воды в реке до наступления наводнения (паводка)  $Q_0$ , м<sup>3</sup>/с, равен:

$$Q_0 = V_0 \cdot S_0, \quad (3.1)$$

где:  $V_0$  - скорость воды в реке до наступления паводка, м/с;  $S_0$  - площадь сечения реки до паводка, м<sup>2</sup>, равная:

$$S_0 = 0,5b_0 \cdot h_0 - \text{для треугольного сечения (рис.3.1,а)}, \quad (3.2)$$

$$S_0 = 0,5(a_0 + b_0) \cdot h_0 - \text{для трапецидального сечения (рис.3.1,б)} \quad (3.3)$$

Расход воды после выпадения осадков (таяния снега) и наступления половодья (паводка)  $Q_{\max}$ , м<sup>3</sup>/с, равен:

$$Q_{\max} = Q_0 + \frac{FJ}{3,6}, \quad (3.4)$$

где:  $J$  - интенсивность осадков (таяния снега), мм/ч.;  $F$  - площадь выпадения осадков (таяния снега), км<sup>2</sup>.



### Расчетная схема сечения реки

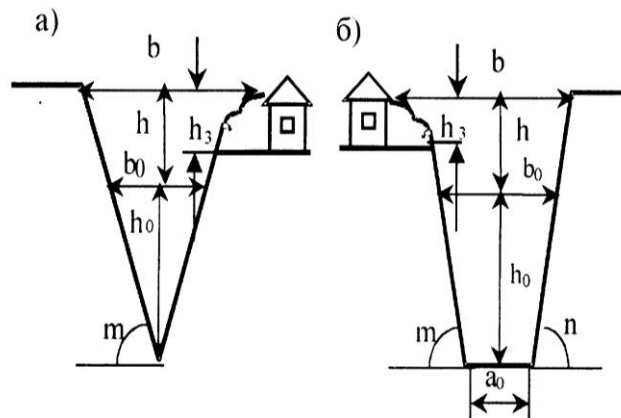


Рис.3.1

- а) треугольное сечение б) трапецеидальное сечение  
 а ширина дна реки;  $b_0$ ,  $b$  - ширина реки до и во время паводка;  
 $h_0$ ,  $h$ ,  $h_3$  глубина реки до и во время паводка и глубина затопления;  
 $m$ ,  $n$  углы наклона берегов реки

Высота подъема воды в реке при прохождении паводка  $h$ , м, определяется из выражения:

для треугольного сечения

$$h = \left( \frac{2Q_{\max} h_0^{1,66666667}}{b_0 \cdot V_0} \right)^{0,375} - h_0;$$

для трапецеидального сечения

$$h = \left( \frac{2Q_{\max} \left( \frac{(b_0 - a_0)}{\text{ctg } m + \text{ctg } n} \right)^{1,66666667}}{(a_0 + b_0) \cdot V_0} \right)^{0,375} - \frac{(b_0 - a_0)}{\text{ctg } m + \text{ctg } n} \quad (3.5)$$

Максимальная скорость потока воды при прохождении паводка  $V_{\max}$ , м/с, равна:

$$V_{\max} = \frac{Q_{\max}}{S_{\max}}, \quad (3.6)$$

где:  $S_{\max}$  - площадь поперечного сечения потока при прохождении паводка, м<sup>2</sup>, определяемая по формулам (3.2) и (3.3), в которые вместо  $h_0$  подставляется  $(h_0 + h)$ , а вместо  $b_0$  подставляется  $b$ .

Поражающее действие паводка определяется глубиной затопления  $h_3$ , м:

$$h_3 = h - h_m, \quad (3.7)$$

и максимальной скоростью потока затопления  $V_3$ , м/с:

$$V_3 = M_{\max} \cdot f \quad (3.8)$$

## Задания

1. Используя расчетную схему сечения реки (рис.3.1) по заданному варианту (таблица 3.1) выбрать и уяснить основные параметры реки, причину наводнения, площадь и интенсивность выпадения осадков (таяния снега).

Таблица 3.1 - Исходные данные

Вариант	Причина наводнения	Сечение реки	Скорость воды в реке $V_0$ , м/с	Ширина реки $b_0$ , м	Ширина дна реки $a_0$ , м	Глубина реки $h_0$ , м
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
1	паводок	трапец	5	50	40	-
2	половодье	треуг	0,5	100	-	25
3	паводок	трапец	6,5	40	30	-
4	половодье	треуг	0,7	25	-	7
5	половодье	трапец	1	50	30	-
6	паводок	трапец	6	30	25	-
7	паводок	треуг	6	30	-	5
8	половодье	треуг	1,1	150	-	25
9	половодье	трапец	5	50	40	-
10	половодье	треуг	0,6	70	-	20
11	паводок	трапец	6,9	20	17	-
12	половодье	трапец	0,7	300	250	-
13	половодье	треуг	0,8	70	-	12
14	половодье	трапец	6,5	20	17	-
15	паводок	трапец	6,7	15	12	-
16	паводок	треуг	6,9	20	-	3
17	паводок	треуг	6,7	15	-	2,5
18	половодье	трапец	0,8	70	50	-
19	половодье	треуг	0,5	500	-	50
20	половодье	трапец	5,5	25	20	-
21	паводок	треуг	6,8	25	-	3,5
22	половодье	трапец	0,9	165	130	-
23	половодье	треуг	5,5	25	-	9
24	паводок	трапец	6,8	25	20	-

Продолжение по горизонтали таблицы 3.1

Вариант	Ширина реки во время паводка $b$ , м	Высота объектов над уровнем воды в реке $h_m$ , м	Угол наклона левого берега реки $m$ , град	Угол наклона правого берега реки $n$ , град.	Интенсивность осадков $J$ , мм/ч	Площадь выпадения осадков (таяния снега) $F$ , км <sup>2</sup>
<i>1</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>
1	500	10	55	65	10	10000
2	500	0	-	-	0,8	1000
3	600	9	65	50	10	10000
4	500	3	-	-	0,75	500
5	300	10	50	50	0,75	10000
6	500	5	60	60	9	11000

7	500	5	-	-	9	11000
8	250	0	-	-	0,67	700
9	200	1,5	55	55	0,77	12000
10	1000	2	-	-	0,9	1000
11	400	7	50	70	10	10000
12	550	1	50	70	0,3	10000
13	270	0,7	-	-	0,47	500
14	130	1	70	80	0,99	1500
15	700	15	70	50	10	20000
16	400	7	-	-	10	10000
17	700	15	-	-	10	20000
18	270	3,7	55	50	0,47	15000
19	1000	2	-	-	0,3	20000
20	100	0,5	73	78	0,9	1000
21	800	16	-	-	10	20000
22	470	3	64	61	0,6	10000
23	100	0,7	-	-	0,9	1000
24	800	10	45	45	10	20000

1. Исходя из заданного сечения русла реки, определить по формулам (3.2) или (3.3) площадь сечения реки до паводка (половодья) и подставляя эти значения в формулу 3.1 определить расход воды в реке  $Q_0$  ( $m^3/c$ ) до наступления паводка (половодья).

2. Зная площадь водосбора  $F$  ( $km^2$ ) и интенсивность выпадения осадков (таяния снега)  $J$  ( $mm/c$ ), рассчитать расход воды в реке  $Q_{max}$  ( $m^3/c$ ) после выпадения осадков (таяния снега) .

3. Высоту подъема воды в реке  $h$  (м) при прохождении паводка (половодья) определить из выражения (3.4) или (3.5) в зависимости от заданного сечения русла реки.

4. Рассчитать максимальную скорость потока воды при прохождении паводка (половодья), используя формулу (3.6).

5. Исходя из заданной высоты объектов над уровнем воды в реке  $h_m$  (м) до наступления половодья (паводка) определить поражающее действие наводнения, которое характеризуется глубиной затопления  $h_z$  (м) (выражение 3.7).

6. Используя приложение 3.2, определить параметр  $f$  удаленности объекта от русла реки и, подставляя его значение в формулу (3.8), рассчитать максимальную скорость потока затопления  $V_z$  (м/с).

7. Зная максимальную скорость потока затопления  $V_z$ , определить долю поврежденных объектов (%) на затопленных площадях, если  $V_z \geq 1,5$  м/с и данные занести в отчет в виде таблицы. Если скорость потока затопления  $V_z < 1,5$  м/с, определить характер нанесенного ущерба и сделать соответствующие выводы.

8. Установить зависимость высоты подъема воды в реке  $h$  (м) после паводка (половодья) от начальной скорости воды в реке  $V_0$  (м/с) и площади выпадения осадков (таяния снега) ( $km^2$ ), построить графики зависимостей и занести в отчет. При построении графиков брать по 5 значений  $V_0$  и  $F$ . Первое значение  $V_0$  взять из исходных данных, а последующие 4 значения, исходя из условия:

- если  $V_0 \geq 6$  м/с, то ШГ=1 в сторону убывания;
- если  $V_0 = 3-5$  м/с, то ШГ=0,5 в сторону убывания;
- если  $V_0 < 3$  м/с, то ШГ=0,1 в сторону убывания

Значение  $F=500; 1000; 1500; 2000; 2500$   $km^2$ .

### Отчет

Площадь сечения реки до наступления наводнения:

для треугольного сечения  $S_0=0.5b_0h_0=$

для трапецидального сечения  $S_0=0.5(a_0+b_0)h_0=$

Для трапецидального сечения русла реки:

$$h_0 = \frac{(b_0 - a_0)}{\text{ctg } m + \text{ctg } n} =$$

Расход воды в реке до наводнения:

$$Q_0 = V_0 \cdot S_0 =$$

Расход воды после выпадения осадков (таяния снега):

$$Q_{\max} = Q_0 + \frac{FJ}{3,6}$$

Высота подъема воды в реке при прохождении паводка (половодья):

для треугольного сечения

$$h = \left( \frac{2Q_{\max} h_0^{1,66666667}}{b_0 \cdot V_0} \right)^{0,375} - h_0 =$$

для трапецидального сечения

$$h = \left( \frac{2Q_{\max} \left( \frac{(b_0 - a_0)}{\text{ctg } m + \text{ctg } n} \right)^{1,66666667}}{(a_0 + b_0) \cdot V_0} \right)^{0,375} - \frac{(b_0 - a_0)}{\text{ctg } m + \text{ctg } n} =$$

Максимальная скорость потока воды при прохождении паводка:

$$V_{\max} = \frac{Q_{\max}}{S_{\max}} =$$

Глубина затопления:

$$h_3 = h - h_M =$$

Максимальная скорость потока затопления:

$$V_3 = V_{\max} f =$$

При  $V_{\max} < 1,25$  м/с,  $f=1$  и  $V_3 = V_{\max}$

Если  $V_{\max} > 1,25$ , то  $f$  выбрать согласно приложению 3.2.

$S_o$	$Q_o$	$Q_{max}$	$h$	$V_{max}$	$h_3$	$V_3$

**Доля поврежденных объектов (%) на затопленных площадях при крупных наводнениях ( $V_3 \geq 1,5$  м/с)**

Объект	Часы					
	1	2	3	4	24	48
Затопление подвалов						
Нарушение дорожного движения						
Разрушение уличных мостовых						
Смыв деревянных домов						
Разрушение кирпичных зданий						

**Зависимость высоты подъема воды в реке  $h$  (м) после наводнения от начальной скорости воды в реке  $V_0$  (м/с)**



**Зависимость высоты подъема воды в реке  $h$  (м) после наводнения от площади выпадения осадков  $F$  (км<sup>2</sup>) (таяния снега).**



**Выводы:**

## Приложение 3.1

По размерам или масштабам и по наносимому ущербу наводнения, как правило, выделяют в четыре категории: низкие, высокие, выдающиеся и катастрофические, наводнения.

Низкие (малые) наводнения наблюдаются в основном на равнинных реках, наносят незначительный материальный ущерб и почти не нарушают ритма жизни населения.

Высокие наводнения сопровождаются значительным затоплением, охватывают сравнительно большие участки речных долин и иногда существенно нарушают хозяйственный и бытовой уклад населения. В густонаселенных районах высокие наводнения приводят к частичной эвакуации населения.

Выдающиеся наводнения охватывают целые речные бассейны. Они парализуют хозяйственную деятельность, наносят большой материальный ущерб, приводят к массовой эвакуации населения и материальных ценностей.

Катастрофические наводнения вызывают затопления обширных территорий в пределах одной или нескольких речных систем. Такие наводнения приводят к значительным материальным убыткам и гибели людей.

К основным характеристикам зоны наводнения в общем случае, как правило, относят:

- численность населения, оказавшегося в зоне наводнения; количество населенных пунктов, попавших в зону, охваченную наводнением (здесь можно выделить города, поселки городского типа, сельские населенные пункты, полностью затопленные, частично затопленные, попавшие в зону подтопления и т.п.);
- количество объектов различных отраслей экономики, оказавшихся в зоне, охваченной наводнением;
- протяженность железных и автомобильных дорог, линий электропередач, линий коммуникаций и связи, оказавшихся в зоне затопления;
- количество мостов и тоннелей, затопленных, разрушенных и поврежденных в результате наводнения;
- площадь сельскохозяйственных угодий, охваченных наводнением; количество погибших сельскохозяйственных животных.

Качественная характеристика причиненного ущерба затопленной территории, как правило, зависит:

- от высоты подъема воды над уровнем реки, водоема, которая может колебаться от 2 до 14 метров;
- от площади затопления, которая колеблется от 10 до 1000 км<sup>2</sup>;
- от площади затопления населенного пункта, которая колеблется от 20 до 100%;
- от максимального расхода воды в период половодья, который, в зависимости от площади водосбора, колеблется от 100 до 4500 м<sup>3</sup>/сек (при площади водосбора 500 км<sup>2</sup> максимальный расход воды колеблется от 100 до 400 м<sup>3</sup>/сек, при 1000 км<sup>2</sup> - 400 - 1500 м<sup>3</sup>/сек, при 10000 км<sup>2</sup> - 1500 - 4500 м<sup>3</sup>/сек);
- от продолжительности паводка, колеблющегося от 1 до 2 суток;
- от продолжительности половодья, колеблющегося на малых реках от 1 до 3 суток, а на крупных реках - от 1 до 3 месяцев;
- от скорости потока, которая при паводках изменяется от 2 до 5 м/с.

Основными параметрами воздействия паводковых волн (волн пропуска) на постоянные мостовые переходы являются:

- удар движущегося фронта волны;
- длительное гидравлическое давление на элементы моста (опоры моста, береговые устои, пролетные строения);

- размыв грунта между опорами (общий размыв) и подмыв опор (местный), разрушение регуляционных сооружений, земляных насыпей (эстакад) на подходах к мосту;
- медленное затопление местности, сооружений и дорог без существенного их разрушения на подходах к мостовому переходу;
- удары массивных плавучих предметов и образование стеснений потока, что вызывает дополнительный подпор с верховой стороны моста.

### Приложение 3.2

Значения параметра  $f$ , учитывающего  
удаленность объекта от русла реки

$h_3/h$	$M_{\max}=1,25\text{ м/с}$	$M_{\max}=1,5\text{ м/с}$	$M_{\max}=2,0\text{ м/с}$
0,1	0,2	0,23	0,3
0,2	0,38	0,43	0,5
0,4	0,60	0,64	0,72
0,6	0,76	0,84	0,96
0,8	0,92	1,05	1,17
1,0	1,12	1,2	1,32

### Приложение 3.3

Доля поврежденных объектов (%)  
на затопленных площадях

Объект	Часы					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>24</b>	<b>48</b>
Затопление подвалов	10	15	40	60	80	90
Нарушение дорожного движения	15	30	60	75	95	100
Разрушение уличных мостовых	-	-	3	6	30	40
Смыв деревянных домов	-	7	70	90	100	100
Разрушение кирпичных зданий	-	-	10	40	50	60



ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет  
имени императора Петра I»  
Типография ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ  
394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1