

Министерство образования Республики Беларусь
Брестский государственный технический университет

Кафедра инженерной экологии и химии

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА «ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АН-
ТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ МАЛЫХ РЕК» ПО
ДИСЦИПЛИНЕ «ОХРАНА ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД»
ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ Т.19.06.04

(Часть 1)

Брест 2001

Методические указания решают вопросы определения минимально допустимых расходов воды с целью охраны природы водных и околотоводных систем, прогноза выноса биогенных веществ в водотоки, предельно допустимых сбросов веществ, поступающих со сточными водами в водные объекты, а также экономической эффективности природоохранных мероприятий.

Предназначены для студентов специализации Т.19.06.04.

Составители: А.А. Волчек, к.г.н., доцент.

П.Ф. Химин, к.с.х.н., доцент.

В.Ю. Цилиндь, ст. преподаватель.

Рецензенты:

Брестский государственный университет им. А.С. Пушкина
(профессор В.Я. Науменко)

Брестский комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды
(ведущий специалист отдела охраны водных ресурсов
Л.В.Шевкунова)

© Брестский государственный технический университет 2001

СОДЕРЖАНИЕ

	СТР.
ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ В РЕКАХ ДЛЯ ОХРАНЫ ПРИРОДЫ	5
1.1. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ	5
1.1.1. ВНУТРИГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА	6
1.1.2. МИНИМАЛЬНЫЙ РАСХОД ВОДЫ	7
1.2. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ	9
1.2.1. РАСЧЕТ СКОРОСТИ И ГЛУБИНЫ ПОТОКА ВОДЫ В РУСЛЕ РЕКИ	11
1.2.2. ДОПУСТИМЫЕ И НАИБОЛЬШИЕ СРЕДНИЕ В СЕЧЕНИИ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ	13
1.2.3. РУСЛОФОРМИРУЮЩИЙ РАСХОД	17
1.3. ПРОГНОЗ СНИЖЕНИЯ УГВ В ПОЙМЕ РЕКИ	18
2. ПРОГНОЗ ВЫНОСА БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДОТОКИ	23
2.1. РАСЧЕТ ПОТРЕБНОГО КОЛИЧЕСТВА УДОБРЕНИЙ	24
2.2. ВЫНОС БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ВОДОСБОРА РЕКИ	25
ЛИТЕРАТУРА	31
ПРИЛОЖЕНИЯ	32

ВВЕДЕНИЕ

Вода широко распространена на земном шаре и играет первостепенную роль во всех процессах, происходящих на его поверхности, в земной коре, в атмосфере. Как писал В.И.Вернадский, вода определяет и создает всю биосферу, поэтому речные и озерные системы должны вечно служить человеку, обеспечивать его не только водой, как ресурсом, не только выступать производителем гидроэнергии, средством транспорта, но и обеспечивать условия воспроизводства рыб, птиц, млекопитающих и др. Необходимо помнить, что водные ландшафты имеют важное эмоционально-психологическое значение, а прибрежно-водные угодья представляют большую ценность как объекты рекреации.

Равновесие в природе покоится на внутренних взаимоотношениях живого мира и его связях с окружающей средой. Это не означает, что человек не должен пытаться склонить чашу весов в свою пользу, но при любой попытке обязан помнить, что делает, и предвидеть последствия этих шагов. В процессе эволюции компоненты живой природы приспособились к режиму рек и озер, и наоборот, режим водотоков и водоемов формировался под воздействием биосферы. Древесная, водная растительность, почвогрунты и другие факторы создали современный облик речных систем.

Интенсивная хозяйственная деятельность человека и изменение водного, гидрохимического, термического, руслового и др. режимов множества рек и озер привела их экосистемы в состояние деградации или к исчезновению с лица Земли, в результате чего происходит истощение и загрязнение водоисточников, ухудшения качества воды водоемов, решается судьба малых рек. Оценка современного состояния последних свидетельствует о тенденциях роста концентраций биогенных веществ, поступающих с сельскохозяйственных угодий, ускорения процесса эвтрофирования.

Важное место в общем комплексе природоохранных мероприятий занимают способы защиты водных ресурсов от загрязнения и истощения, которые требуют разработки и реализации системы мер технического, экономического и правового характера в процессе проектирования, строительства и эксплуатации в водохозяйственных объектах.

Курсовой проект выполняется с целью отработки у студентов навыков работы с нормативно-справочной литературой, закрепления теоретических знаний по курсу «Охрана поверхностных и подземных вод» и приобретения самостоятельности в выборе принципов и методов оптимизации хозяйственной деятельности человека для рационального использования водных ресурсов. В проекте решаются вопросы определения минимально допустимых расходов воды с целью охраны природы водных и околородных систем, прогноза выноса биогенных веществ в водотоки, разрабатываются схемы зон санитарной охраны водозаборов и комплекс природоохранных мероприятий на водосборах, нормируются сбросы

загрязняющих веществ в водные объекты путем установления предельно допустимых сбросов (ПДС) веществ, поступающих со сточными водами.

1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ В РЕКАХ ДЛЯ ОХРАНЫ ПРИРОДЫ

Чрезмерный забор воды из рек и подземных горизонтов, задержание стока в водохранилищах без достаточных попусков в нижние бьефы приводит к нарушению естественного режима речного стока, что вызывает уменьшение скоростей движения воды, и как следствие, заиление, зарастание русел; понижение уровня грунтовых вод, приводящего к изменению влагообеспеченности корнеобитаемого слоя почвы и состояния растительности на прилегающей территории; нарушение биологических и гидрохимических режимов и ухудшение условий жизнедеятельности флоры и фауны рек.

При минимальных расходах, наблюдаемых в естественных условиях, сохраняется экологическое равновесие в водных системах, следовательно, исходя из интересов охраны природы, уменьшение расходов в реках меньше минимально наблюдаемых не допустимо.

Поэтому при проектировании конкретных водохозяйственных объектов и при наличии данных о климатических, агроклиматических и гидрогеологических условиях установленный минимально допустимый расход воды в реке должен отвечать следующим критериям охраны природы:

- а) скорости воды в реке не должны быть меньше скоростей, при которых русло не зарастало в естественном состоянии;
- б) концентрация загрязнений не должна превышать предельно допустимого значения, включая створ спуска сточных вод;
- в) уровни грунтовых вод на прилегающих территориях должны оставаться в пределах, обеспечивающих нижний предел оптимальной влажности почвы.

1.1 Гидрологические расчеты

Годовой расход воды рек расчетной обеспеченности при отсутствии данных наблюдений определяется по формуле [1]

$$Q_p = \bar{q} \cdot A \cdot k_p \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где \bar{q} - средний многолетний годовой модуль стока, л/с·км²; A - площадь водосбора до расчетного створа, км²; k_p - модульный коэффициент расчетной обеспеченности, определяется по приложению 2 «Значение модульных коэффициентов (K_p) для трехпараметрического гамма-распределения» в зависимости от обеспеченности (P) и соотношения (C_S/C_V).

Соотношение C_S/C_V принимается по рекам-аналогам или равным 2,0 – для рек бассейна Черного моря и 2,5 – для рек бассейна Балтийского моря.

Пример расчета:

Определить среднегодовой расход воды р.Мухавец у г.Пружаны 95% обеспеченности. $A=106 \text{ км}^2$, $i_T=0,79\%$; $L_T=15 \text{ км}$; $\rho=0,49 \text{ км/ км}^2$.

По карте среднемноголетнего годового стока рек Беларуси (Приложение 1) определяем значение $\bar{q}=3,5 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$. По Приложению 2 находим значение модульного коэффициента k_p

$$K_p = \frac{0,467 - 0,373}{2} = 0,420$$

По формуле (1) вычисляем расход воды обеспеченности 95%

$$Q_{95\%} = 3,5 \cdot 106 \cdot 420 \cdot 10^{-3} = 0,156 \text{ м}^3/\text{с}$$

1.1.1 Внутригодовое распределение стока

Внутригодовое распределение стока определяется по типовым картам-схемам гидрологических районов и подрайонов Беларуси (Приложение 4) после чего по Приложению 5 определяют месячное и сезонное распределение стока рек (в процентах от годового). Для р. Мухавец по Приложению 4 определяем район – VI, подрайон – в. Годовой расход 95% -ой обеспеченности равен $Q_{95\%} = 0,156 \text{ м}^3/\text{с}$, который распределяем по месяцам года (Приложение 5) в следующей пропорции:

$$Q_{\text{мес},i} = \frac{Q_{\text{год}} \cdot 12 \cdot q_{\text{мес},i,\%}}{100};$$

так для марта он равен

$$Q_{\text{III}} = \frac{Q_{\text{год}} \cdot 12 \cdot 42}{100} = \frac{0,156 \cdot 12 \cdot 42}{100} = 0,786 \text{ м}^3/\text{с}$$

Расчет выполняется в табличной форме

Таблица 1 Внутригодовое распределение стока р.Мухавец $\text{м}^3/\text{сек}$

Месяцы	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	Год
$Q_{95\%}$ в процентах	42,0	17,1	7,1	3,1	1,9	1,1	0,5	1,9	3,7	13,1	5,4	3,1	100
$Q_{95\%}$, $\text{м}^3/\text{с}$	0,756	0,308	0,128	0,056	0,034	0,020	0,009	0,034	0,067	0,236	0,097	0,056	0,156

На основании данных таблицы 1 строим гидрограф годового стока р. Мухавец у г. Пружаны.

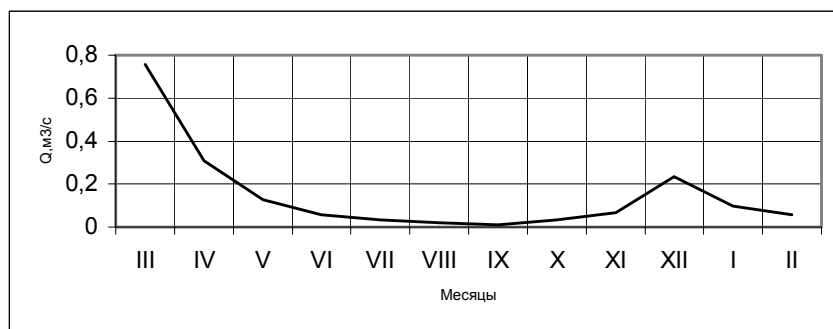


Рисунок 1. Гидрограф годового стока р. Мухавец у г. Пружаны 95%-ной обеспеченности.

1.1.2 Минимальный расход воды

Исходя из интересов охраны природы, уменьшение расходов в реках меньше минимально наблюдаемых не допустимо. Для водосборов площадью менее 1000 км² и отсутствии данных наблюдений минимальные 30-суточные расходы воды ($Q_{95\%}$), м³/с, за летне-осенний период определяются по формуле

$$Q_{95\%} = q_n \cdot 10^{-3} \cdot (A - A_{\text{КР}})^{1,07}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2)$$

где q_n - элементарный модуль минимального летне-осеннего стока рек, зависящий от физико-географических условий, определяемый по окружающим рекам-аналогам или по карте изолиний (Приложение 6), л/с·км²; A - площадь водосбора до расчетного створа, км²; $A_{\text{КР}}$ - первая критическая площадь, величину которой, при невозможности проведения полевых изысканий, допускается определять по формуле

$$A_{\text{КР}} = \frac{0,98}{\rho^2} + \frac{1,5 \cdot L_T}{\sqrt{i_T}}, \text{ км}^2, \quad (3)$$

где ρ - густота гидрографической сети, км/км²; L_T - длина русла основного тальвега, км; i_T - уклон русла основного тальвега, промилле.

Переход от минимальных 30 - суточных (среднемесячных) расходов воды обеспеченностью 95% к расходам других обеспеченностей осуществляется (за летне-осенний период) по соответствующим уравнениям вида

$$Q_p = a \cdot Q_{95\%} + \frac{b \cdot A}{1000}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4)$$

Коэффициенты регрессии для корреляционных зависимостей (4) приведены в таблице 2.

Таблица 2 Коэффициенты регрессии (a) и (b) в формуле (4)

Обеспеченность в процентах	Коэффициенты	
	a	b
50	1,22	0,64
75	1,16	0,27
90	1,07	0,08
97	0,97	-0,03

Пример расчета минимального среднемесячного расхода воды за летне-осенний период р. Мухавец обеспеченности 95%.

Расчет производится в следующей последовательности:

1) определяется ($A_{1кр}$) по уравнению (3)

$$A_{1кр} = \frac{0,98}{0,49^2} + \frac{1,5 \cdot 15}{\sqrt{0,79}} = 29,4 \text{ км}^2;$$

2) параметр ($q_л$) в формуле (2) определяется по карте изолиний (Приложение 6) $q_л=0,4$;

3) по формуле (2) рассчитывается расход воды обеспеченности 95%

$$Q_{95\%} = 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot (106 - 29,4)^{1,07} = 0,042 \text{ м}^3/\text{с};$$

Минимальные 30-суточные расходы воды ($Q_{95\%}$), $\text{м}^3/\text{с}$, за зимний период для водосборов площадью менее 1000 км^2 определяются по формуле

$$Q_{95\%} = q_3 \cdot 10^{-4} \cdot (A - A_{1кр})^n, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (5)$$

где q_3 - элементарный модуль стока, зависящий от физико-географических условий и определяемый по окружающим рекам - аналогам или по таблице 3, $\text{л}/\text{с} \cdot \text{км}^2$; n - показатель степени редукции расхода воды обеспеченностью 95% по величине действующей площади водосбора ($A - A_{1кр}$), определяемый, в зависимости от района (Приложение 7), по таблице 3.

Таблица 3 Параметры (q_3) и (n) в формуле (13)

Район	Параметры	
	q_3	n
I	0,6	1,03

II	2,4	0,92
III	6,3	0,90
IV	0,6	0,89
V	0,6	1,00

Переход от минимальных 30 - суточных расходов воды обеспеченностью 95% к расходам других обеспеченностей за зимний период осуществляется по соответствующим корреляционным уравнениям вида (4) с использованием коэффициентов регрессии, приведенных в таблице 4.

Таблица 4 Коэффициенты регрессии (a) и (b) в формуле (4)

Водосборы рек	Коэффициенты при обеспеченности (P) в процентах, равной							
	50		75		90		97	
	A	B	a	b	a	B	a	b
Неман, Днепр, Сож, Западная Двина	1,37	0,66	1,23	0,28	-	-	-	-
Припять, Западный Буг	1,24	1,13	1,20	0,45	-	-	-	-
Территория Беларуси, в целом	-	-	-	-	1,07	0,10	0,97	-0,04

Пример расчета минимального среднемесячного расхода воды за зимний период обеспеченности 95% р. Мухавец у г. Пружаны.

Расчет производится в следующем порядке:

- 1) определяется (A_{IKP}), по уравнению (3) $A_{IKP}=29,4$;
- 2) по таблице 3 определяются параметры (q_z) и (n) расчетной формулы (13) $q_z=0,6$; $n=0,89$;
- 3) определяется среднемесячный расход воды обеспеченности 95% по формуле (5)

$$Q_{95\%}=0,6 \cdot 10^{-4} \cdot (106-29,4)^{0,89}=0,0029 \text{ м}^3/\text{с};$$

На основании сопоставления минимальных 30 – суточных расходов воды за летне-осенний и зимний периоды обеспеченности 95%, делаем вывод: расходы р. Мухавец у г. Пружаны 95 % обеспеченности выше минимальных среднемесячных летне-осенних и зимних расходов воды в течение всего года, а следовательно, обеспечивается экологическое равновесие гидробионтов и протекание процессов самоочищения водотока.

1.2 Гидравлические расчеты

В качестве основного условия обеспечения сохранения малых рек от истощения и вредных изменений следует принимать принцип сохранения в водотоке расхода, при любых видах хозяйственного использования, обеспечивающего воспроизводство биологических ресурсов и обуславливающего удовлетворительное санитарно-биологическое состояние и самоочищение реки.

Рассмотрим, какими пределами изменений гидролого-гидравлических показателей это состояние гарантируется.

Санитарно-биологическое состояние реки зависит от проточности и лимитируется следующими особенностями:

- река не должна представлять собой ряд отдельно разобщенных плесов;
- исчезновение проточности приводит к замедлению темпов развития аэробных организмов, преобладанию анаэробного разложения, снижению численности аэробов;
- на плесовых участках реки происходит аккумуляция органического вещества и возникает дефицит кислорода в летнюю и зимнюю межени;
- при благоприятной температуре, наличии питательных веществ с уменьшением проточности в плесовых участках развивается большая биомасса водорослей (до 5 ... 10 кг/м²) и происходит замена исторически сложившихся биоценозов на новые, однообразные, стойкие к загрязнению, характерные для стоячих водоемов.

Диапазон влияния скорости течения на планктонные организмы достаточно велик 0,10 ... 0,90 м/с, однако для предупреждения интенсивного развития водорослей достаточна скорость 0,5 ... 0,6 м/с. Одновременно на развитие фитопланктона влияет прозрачность воды (развитие почти прекращается при прозрачности 7 ... 10 см по диску Секки). При скорости течения ниже 0,30 м/с и глубинах меньше 2,5 м происходит интенсивное зарастание русел рек высшими водными растениями – макрофитами. Для рек шириной до 10 ... 15 м и глубиной до 0,7 ... 1,0 м допустима по условиям незарастаемости скорость течения 0,1 ... 0,2 м/с.

Донные сообщества в мягких и твердых субстратах погибают при осушении реки и разделении ее на ряд изолированных плесов, некоторые гидробионты в состоянии переместиться из осушаемых участков вслед за водой, если скорость ее отступления не превышает 2,5 см/час; при пересыхании реки бентосные организмы в состоянии анабиоза могут сохраняться от 13 суток до 1 года, водоросли – до 25 лет.

Санитарно-биологическое благополучие водотока является предпосылкой сохранения его рыбохозяйственного значения, поскольку обеспечивает кормовую базу ихтиофауне. В то же время имеются некоторые обособленные требования для обеспечения сохранения рыбохозяйственного значения реки. Это – минимальное наполнение русла в пределах: для форели 0,1 – 1,0 м, для хариуса – 0,5 ... 0,8 м; для усача – 1,0 ... 3,0 м.

Сохранение проточности и водообмена на нерестилищах, также остается необходимым условием удовлетворительного рыбохозяйственного состояния реки.

По условиям незаиляемости русла представляется необходимым поддержание незаиляющих средних скоростей течения в пределах 0,10 ... 0,25 м/с для большинства небольших русел. Экологические требования к реке самого человека весьма неопределенны. Установлено, что для водного спорта и туризма глубина в реке не должна быть меньше 0,5 ... 0,8 м, проточность не лимитируется.

Из рассмотрения всех перечисленных факторов, влияющих на величину водоохранного расхода с экологических позиций, могут быть получены основные критерии лимитирования минимальных расходов.

Санитарно-биологический – из условия минимального обмена речных плесов, когда условная глубина в реке принимается средневзвешенной по плесам и перекатам.

Критерий незаиляемости и незаращаемости русла водной растительностью – из условия обеспечения незаиляющих и незаражающих скоростей в меженьный период; незаращаемость русла обеспечивается скоростью течения 0,3 м/с.

Рыбохозяйственный критерий лимитирования минимальных расходов обеспечивается глубинами 0,1 ... 1,0 м, в зависимости от вида ценных пород рыб и сохранением стабильного уровня в период нереста.

Остальные условия, определяющие минимальный расход воды в реке по условиям разбавления сточных вод по лимитирующему показателю вредности (ЛПВ) до уровня ПДК, рекреация, естественная минерализация воды могут быть установлены по известным расчетным методам.

1.2.1 Расчет скорости и глубины потока воды в русле реки

В открытом русле имеет место безнапорное движение жидкости, а поток имеет свободную поверхность. Равномерным называется движение, элементы которого в рассматриваемый момент времени не изменяются по длине потока, при этом уклоны дна русла (i), трения (i_f), гидравлический (i_e) и пьезометрический (i_p) уклоны равны между собой.

Средняя в сечение скорость при равномерном движении воды в открытых руслах определяется по формуле:

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot i}, \quad (6)$$

где C – коэффициент Шези; R – гидравлический радиус; i – уклон дна русла.

Для определения коэффициента Шези существует много различных эмпирических формул. Однако расхождения между величинами C , найденными по этим формулам для данного конкретного случая, не столь велико. Поэтому воспользуемся формулой Маннинга для определения коэффициента Шези

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6}, \quad (7)$$

где n – коэффициент шероховатости стенок русла.

Значения коэффициентов шероховатости стенок русел приведены в таблице 5.

Таблица 5 Коэффициент шероховатости n для различных водотоков

Описание водотоков	Минимальный n_{\min}	Нормальный n	Максимальный n_{\max}
Малые водотоки (ширина менее 30 м) равнинных рек	0,025	0,070	0,150
Русла с поймой без кустарников и деревьев	0,025	--	0,050
Русла с поймой покрытой кустарником	0,035	--	0,160
Русла с поймой покрытой деревьями	0,110	--	0,200

Гидравлический радиус определяется как

$$R = \frac{\omega}{\chi}, \quad (8)$$

где ω - площадь поперечного сечения; χ – смоченный периметр.

Площадь живого сечения может быть определена планиметром или аналитически. Промерные вертикали разделяют водное сечение на ряд трапеций, только береговые участки могут иметь форму треугольника, если глубина на урезе равна нулю. Аналитически площадь водного сечения определяется как сумма частных площадей. В пределах водного сечения выделяют площади живого сечения и мертвого пространства. *Живое сечение* – часть водного сечения, в которой скорость течения больше порога чувствительности прибора, которым измеряли скорость течения. *Мертвое пространство* – часть водного сечения, в котором скорость меньше порога чувствительности прибора. Техника вычисления площади водного сечения представлена на рисунке 2.

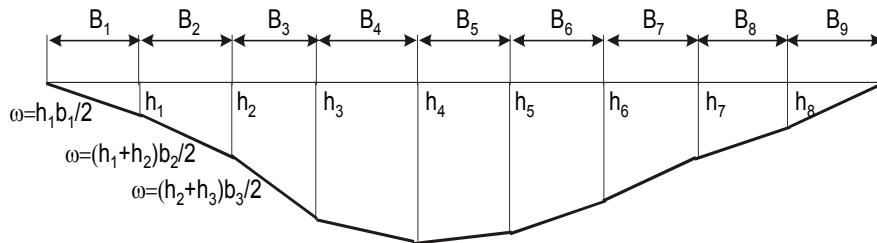


Рисунок 2. Схема вычисления площади водного сечения.

Определение глубины водного потока решается путем подбора искомой величины. Алгоритм решения включает следующие задачи:

- находят модуль расхода, которым должно характеризоваться рассчитываемое русло. Этот модуль расхода называется *необходимым* и обозначается через $K_{необ}$ и равен

$$K_{необ} = Q/\sqrt{i};$$

- расчеты ведутся в табличной форме (Таблица 6), в которой задаются рядом значений h , и для каждого h вычисляется соответствующий модуль расхода K ;

Таблица 6 К расчету $h_{иск}$

h, м	ω , м ²	χ , м	R, м	N	$C, \sqrt{\frac{M}{c^2}}$	\sqrt{R}	$K = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R}, \frac{M^3}{c}$
1	2	3	4	5	6	7	8
0,1							
...							
h_{max}							

- по данным 1-го и 8-го столбцов таблицы 6 строится график $K=f(h)$ (Рисунок 3);

- по этому графику, зная $K_{необ}$, находится искомое значение h , как показано на рисунке 3 ($h_{иск}$);

- зная искомую глубину потока определяют площадь живого сечения и по уравнению неразрывности определяют среднюю скорость потока воды в русле

$$v = Q/\omega, \text{ м/с.}$$

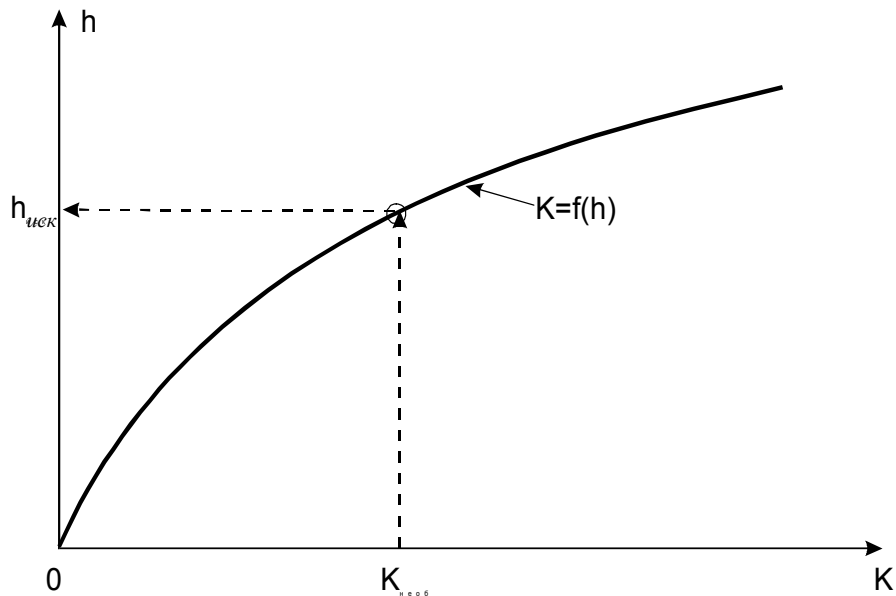


Рисунок 3 График связи $K=f(h)$.

1.2.2 Допустимые и наибольшие средние в сечении скорости течения

Выбор расчетной скорости $V_{рас}$, предопределяя размеры русла и тип его крепления, имеет большое экономическое значение. Во всех случаях эта скорость должна отвечать условию

$$V_{min} < V_{рас} \leq V_{дон} \quad (9)$$

где V_{min} - минимальная допустимая (незаиляющая) средняя в сечении скорость, т.е. скорость, при незначительном снижении которой можно ожидать заиление русла наносами; $V_{дон}$ - максимальная допустимая (неразмывающая) средняя в сечении скорость, т.е. наивысшее значение средней скорости течения воды, при котором для данного грунта, поток не вызывает недопустимого для нормальной эксплуатации размыва (разрушения) русла.

Для неукрепленных русел максимальные допустимые средние скорости при ориентировочных расчетах можно определять так:

при $\frac{h}{d} \leq 600$ по формуле Б.И. Студеничкина:

$$V_{дон} = 3,6 \cdot \sqrt[4]{h \cdot d}, \text{ м/с}; \quad (10)$$

при $\frac{h}{d} > 600$ по формуле А.М. Латышенкова:

$$V_{дон} = 5 \cdot d^{0,3} \cdot h^{0,2}, \text{ м/с}, \quad (11)$$

где d – средний диаметр частиц грунта, м; h – глубина потока, м.

Минимальные допустимые (незаиляющие) средние в сечении скорости протекания воды (V_{\min}) зависят от количества и размеров взвешенных частиц. Для определения их существуют зависимости и таблицы, составленные на основе натурных наблюдений и опытных данных (некоторые из них приведены ниже).

Если насыщенность потока наносами с диаметром частиц более 0,25 мм не превышают 0,01% по весу, то

$$V_{\min} = a_1 \cdot \sqrt{R}, \quad (12)$$

где a_1 - множитель принимается по таблице 7 в зависимости от среднего диаметра частиц преобладающей массы взвешенных наносов.

Таблица 7 Множитель a_1 в зависимости (12)

d ср, мм	$a_1, \text{м}^{0,5}/\text{с}$	d ср, мм	$a_1, \text{м}^{0,5}/\text{с}$	d ср, мм	$a_1, \text{м}^{0,5}/\text{с}$
0,1	0,22	0,8	0,90	1,6	1,05
0,2	0,45	1,0	0,95	1,8	1,07
0,4	0,67	1,2	1,00	2,0	1,10
0,6	0,82	1,4	1,02	3,0	1,11

Эта же скорость может быть определена по такой зависимости

$$V_{\min} = a \cdot h^{0,64}, \quad (13)$$

где h – глубина потока, м; a – коэффициент, зависящий от характеристики наносов:

для крупных песчано-илистых наносов - $a=0,6...0,71$;

для средних песчано-илистых наносов - $a=0,54...0,57$;

для мелких песчано-илистых наносов - $a=0,39...0,41$;

для очень мелких песчано-илистых наносов - $a=0,34...0,37$.

Допустимая незаиляющая скорость может быть также определена по зависимости А.С. Гиршкана

$$V_{\min} = A \cdot Q^{0,20}, \quad (14)$$

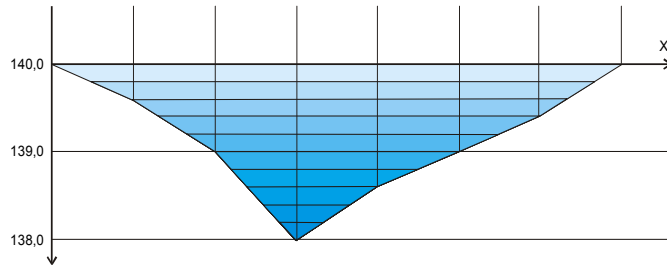
где Q – расход воды, м³/с; A – коэффициент, зависящий от гидравлической крупности наносов (V^*) (скорость падения частиц грунта в чистой воде): $A=0,33$, если (V^*) < 1,5 мм/с; $A=0,44$, если (V^*) = 1,5...3,5 мм/с; $A=0,55$, если (V^*) > 3,5 мм/с.

Пример расчета глубины потока воды в русле и ее скорости.

Требуется определить глубину воды и скорость ее течения в р. Мухавец у г. Пружаны во время весеннего половодья для очень маловодного года. Результаты измерения поперечного профиля следующие:

Расстояние от постоянного начала, м	0	1	2	3	4	5	6	7
Абсолютная отметка, м	140,00	139,60	139,00	138,00	138,60	139,00	139,40	140,00

По данным изысканий строим поперечный профиль реки, который сечем плоскостями через 0,2 м и определяем площади поперечного сечения.



Номер водомерной вертикали	0	1	2	3	4	5	6	7
Глубина воды, м	0	0,4	1,0	2,0	1,4	1,0	0,6	0
Расстояния между вертикалями, м		1	1	1	1	1	1	1

Рисунок 4 Поперечный профиль р. Мухавец у г. Пружаны.

Дальнейшие расчеты сводим в таблицу 8.

По данным граф (1) и (8) строим график связи $K=f(h)$. На рисунке 5 построен график связи $K=f(h)$. Находим необходимый модуль стока

$$K_{\text{необ}} = \frac{Q_{95\%}}{\sqrt{i}} = \frac{0,156}{\sqrt{0,00079}} = 5,55.$$

Таблица 8 Расчет гидравлических параметров

h, м	$\omega, \text{м}^2$	$\chi, \text{м}$	R, м	n	C, $\text{м}^{0,5}/\text{с}$	\sqrt{R}	K^*
1	2	3	4	5	6	7	8
0,20	0,053	0,6716	0,079	0,070	9,37	0,28	0,139
0,40	0,213	1,3431	0,159	0,070	10,51	0,40	0,895
0,60	0,480	2,0147	0,238	0,070	11,25	0,49	2,646
0,80	0,870	2,8361	0,307	0,070	11,73	0,55	5,613
1,00	1,400	3,6574	0,383	0,070	12,17	0,62	10,544
1,20	2,083	4,5847	0,454	0,070	12,53	0,67	17,487
1,40	2,933	5,5119	0,532	0,070	12,86	0,73	27,534
1,60	3,933	6,2894	0,625	0,070	13,21	0,79	41,044

1,80	5,083	7,2166	0,704	0,070	13,48	0,84	57,556
2,00	6,40	8,1439	0,786	0,070	13,72	0,89	78,149

$$K^* = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R}, \text{ м}^3 / \text{с}$$

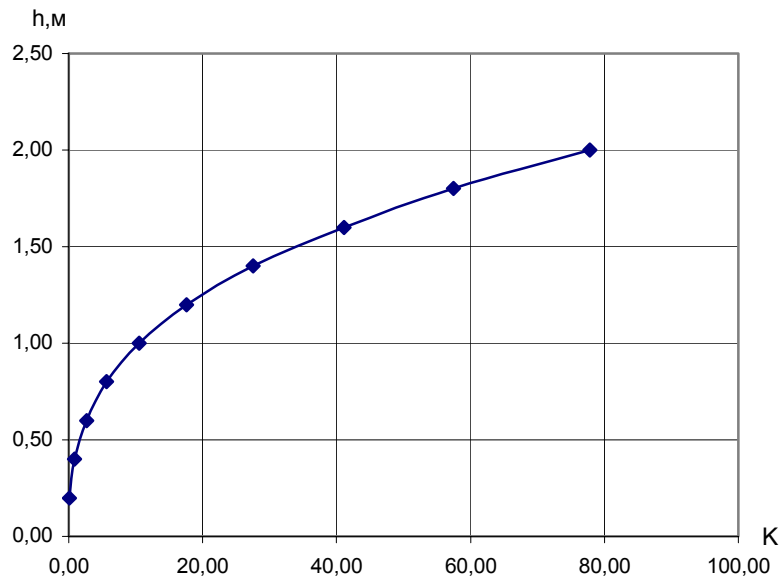


Рисунок 5 График связи $K=f(h)$ р. Мухавец у г. Пружаны.

Зная, модульный коэффициент стока, по графику находим среднюю глубину потока, равную $h=0,79$ м. При этом площадь живого сечения потока равна $\omega=0,86$ м². Зная площадь поперечного сечения, по уравнению неразрывности можно найти среднюю скорость потока воды в русле $v = \frac{Q}{\omega} = \frac{0,156}{0,86} = 0,18$ м/с.

Для определения допустимых средних скоростей определяем соотношение $\frac{h}{d} = \frac{0,79}{0,0008} = 1000 > 600$, следовательно используем формулу (11):

$V_{дон} = 5 \cdot 0,0008^{0,3} \cdot 0,79^{0,2} = 0,56$, м/с. Минимальные допустимые (незаиляющие) средние в сечении русла реки скорости протекания воды ($V_{мин}$) определяем по формуле (13). Для мелких песчано-илистых наносов $a=0,40$ и имеем $V_{мин} = 0,40 \cdot 0,79^{0,64} = 0,35$ м/с. Таким образом, средняя скорость течения реки (0,18 м/с) меньше допустимой минимальной скорости. Русло реки будет подвергаться зарастанию и заилению.

1.2.3 Руслоформирующий расход

Одним из важнейших параметров, обеспечивающих сохранение реки в устойчивом природном состоянии, является руслоформирующий расход воды. Как показывают исследования, для большей части равнинных рек руслоформирующие расходы близки к максимумам весеннего половодья 50 % - ной обеспеченности. При не обеспечении этого условия вертикальная эрозия заменяется боковой, и река трансформируется в другую природную геосистему. Для аналитического расчета динамически устойчивой допустимой ширины потока могут быть использованы формулы И.Ф. Карасева:

$$B \geq 0,85 \sqrt{\frac{Q}{g \cdot H \cdot J}}, \quad (15)$$

где B – ширина реки, м; Q – расход реки, м³/с; H – глубина потока, м; J – уклон реки; g – ускорение силы тяжести, м/с².

$$B \geq 3,65 \cdot (H \cdot d)^{1/4} \cdot \sqrt{\frac{H}{J}}, \quad (16)$$

где d – крупность частиц руслоформирующей фракции наносов.

В формуле (15) характер грунтов учитывается лишь косвенно, через уклон потока, а формуле (16) устойчивость грунта определяется непосредственно расчетным диаметром частиц наносов.

В целом, можно заключить, что устойчивость или надежность геосистемы оценивается вероятностью его безотказного функционирования в течение длительного периода времени в определенных граничных условиях. Устойчивость речных геосистем зависит от устойчивости ее отдельных компонентов. В естественной природе надежность функционирования геосистем приближается к 100%, однако никогда не достигает этой величины вследствие того, что в естественной обстановке существуют природные катаклизмы (катастрофы).

Пример расчета динамически устойчивой допустимой ширины потока.

Оценим динамические процессы, происходящие в русле р. Мухавец у г. Пружаны. Для этого необходимо определить расходы воды в самую многоводную фазу. Для рек Полесского региона наибольший расход приходится на март месяц. Определяем средний годовой расход воды по р. Мухавец у г. Пружаны:

1) по картам изолиний (Приложение 1) определяем значение нормы годового слоя стока: $\bar{q} = 3,5 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$

2) по формуле (1) вычисляется расход воды обеспеченности 50%

$$Q_{50\%} = 3,5 \cdot 106 \cdot 0,922 \cdot 10^3 = 0,342 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Внутригодовое распределение стока принимается по районной схеме, Приложение 4 (район VI - в) для среднего года и площади водосбора равной $A=106$ км². Расход воды 50% -ой обеспеченности за март месяц определяем из следующей пропорции:

$$Q_{\text{мес.и}} = \frac{Q_{\text{год}} \cdot 12 \cdot q_{\text{мес.и, \%}}}{100} = \frac{0,342 \cdot 12 \cdot 31,1}{100} = 1,28 \text{ м}^3/\text{с}, \text{ где } q_{\text{мес.и}} = 31,1 \% - \text{процентное распределение годового стока за март. Для этого расхода определяем}$$

модуль стока по формуле $K_{\text{необ}} = \frac{Q}{\sqrt{i}} = \frac{1,28}{\sqrt{0,00079}} = 45,6$. Определив модульный

коэффициент стока, по графику из предыдущего примера находим среднюю глубину потока, равную $h=1,63$ м. При этой глубине ширина потока будет равна $B=5,60$ м. Используя формулу (15) получим динамически устойчивую допустимую ширину потока

$$B_{\text{р.-ф.}} = 0,85 \cdot \sqrt{\frac{Q}{g \cdot H \cdot J}} = 0,85 \cdot \sqrt{\frac{1,28}{9,81 \cdot 1,63 \cdot 0,00079}} = 2,87 \text{ м.}$$

Отсюда делаем вывод: так как $B_{\text{р.-ф.}} = 2,87 \text{ м} < B = 5,60 \text{ м}$, русло находится в устойчивом состоянии.

1.3 Прогноз снижения УГВ в пойме реки

При отборе воды из реки происходит снижение уровня воды в реке, что в свою очередь вызывает снижение уровня грунтовых вод (УГВ) на пойме. Ширина зон влияния и величина снижения УГВ являются важными характеристиками, отражающими возможность изменения природных условий, в районах антропогенного воздействия на водную систему и могут быть количественно оценены расчетным путем.

Для оценки снижения УГВ в пойме реки при уменьшении уровня воды в реке (расчетная схема приведена на Рисунке 6) можно воспользоваться следующей формулой:

$$\Delta H = \Delta H_0 \cdot \text{erfc}(z), \quad (17)$$

где ΔH - снижение УГВ в расчетной точке, м; ΔH_0 – снижение уровня воды в русле реки, м; $z = \frac{x}{2 \cdot \sqrt{a \cdot t}}$ - расчетная величина; x – расстояние расчетной точки

от уреза воды, м; $a = \frac{k \cdot h}{\mu}$, $\frac{\text{м}^2}{\text{сут}}$ - коэффициент уровнепроводности; t – время от

начала снижения уровня, сут; k – коэффициент фильтрации грунта, м/сут; h – средняя мощность водоносного горизонта, м; μ – коэффициент водоотдачи грунта; $erfc$ – специальная функция, численные значения которой приведены в таблице 9, соответственно значениям z .

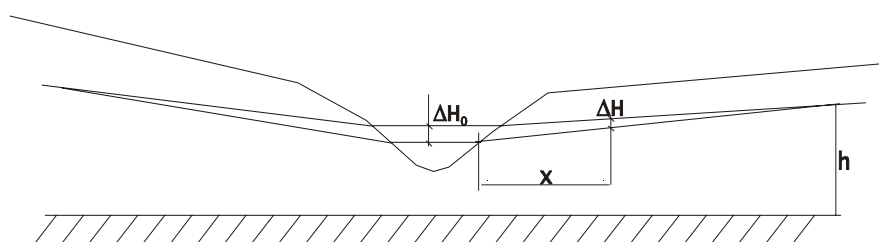


Рисунок 6 Расчетная схема к формуле (17).

Формула (17) может быть приведена к виду

$$H = \frac{\Delta H}{\Delta H_0} \approx erfc(z), \quad (18)$$

где H – относительное снижение УГВ на расстоянии x от русла реки.

Таблица 9 Значения функции $erfc(z)$

Z	Erfc(z)	Z	erfc(z)	Z	erfc(z)	Z	erfc(z)
0,00	1,000	0,22	0,7557	0,44	0,5338	0,82	0,2462
0,01	0,9887	0,23	0,7450	0,45	0,5245	0,84	0,2349
0,02	0,9774	0,24	0,7343	0,46	0,5153	0,86	0,2239
0,03	0,9662	0,25	0,7237	0,47	0,5062	0,88	0,2133
0,04	0,9549	0,26	0,7131	0,48	0,4973	0,90	0,2031
0,05	0,9436	0,27	0,7026	0,49	0,4883	0,92	0,1932
0,06	0,9324	0,28	0,6921	0,50	0,4795	0,94	0,1837
0,07	0,9211	0,29	0,6817	0,52	0,4621	0,96	0,1746
0,08	0,9099	0,30	0,6714	0,54	0,4451	0,98	0,1658
0,09	0,8987	0,31	0,6611	0,56	0,4284	1,00	0,1573
0,10	0,8875	0,32	0,6509	0,58	0,4121	1,10	0,1198
0,11	0,8764	0,33	0,6407	0,60	0,3961	1,20	0,0897
0,12	0,8652	0,34	0,6306	0,62	0,3806	1,30	0,0660
0,13	0,8541	0,35	0,6206	0,64	0,3654	1,40	0,0477
0,14	0,8431	0,36	0,6107	0,66	0,3506	1,50	0,0339
0,15	0,8320	0,37	0,6008	0,68	0,3362	1,60	0,0237

Z	Erfc(z)	Z	erfc(z)	Z	erfc(z)	Z	erfc(z)
0,16	0,8210	0,38	0,5910	0,70	0,3332	1,70	0,0162
0,17	0,8100	0,39	0,5813	0,72	0,3086	1,80	0,0109
0,18	0,7991	0,40	0,5716	0,74	0,2953	1,90	0,0072
0,19	0,7882	0,41	0,5620	0,76	0,2825	2,00	0,0047
0,20	0,7773	0,42	0,5525	0,78	0,2700		
0,21	0,7665	0,43	0,5431	0,80	0,2579		

Для применения формул (17), (18) продолжительность формирования зоны влияния от начала забора воды выбирается из рисунка 7 в соответствии с численной величиной отношения $\frac{x}{\Delta H_0 \cdot a}$, в расчетной точке следующим образом:

а) расчетная точка на местности находится у подножья надпойменной террасы, коренного берега, моренной гряды или на их склонах в полосе выклинивания грунтовых (напорных) вод, параметр t принимается на прямой 1;

б) расчетная точка находится в пределах плавно изменяющегося рельефа – монотонный подъем или понижение поверхности прилегающей поймы, параметр t принимается на прямой 2;

в) в расчетной точке имеет место дополнительное влияние других факторов, параметр t принимается на прямой 3.

Исходные данные. Параметры, входящие в расчетные формулы выбираются следующим образом. Величина снижения уровня воды в реке (ΔH_0) принимается по фактическим данным или по результатам расчета. Параметры k , h , μ по материалам изысканий и гидрогеологической съемки. При отсутствии данных, μ можно принять в зависимости от характера грунтов согласно таблице 10.

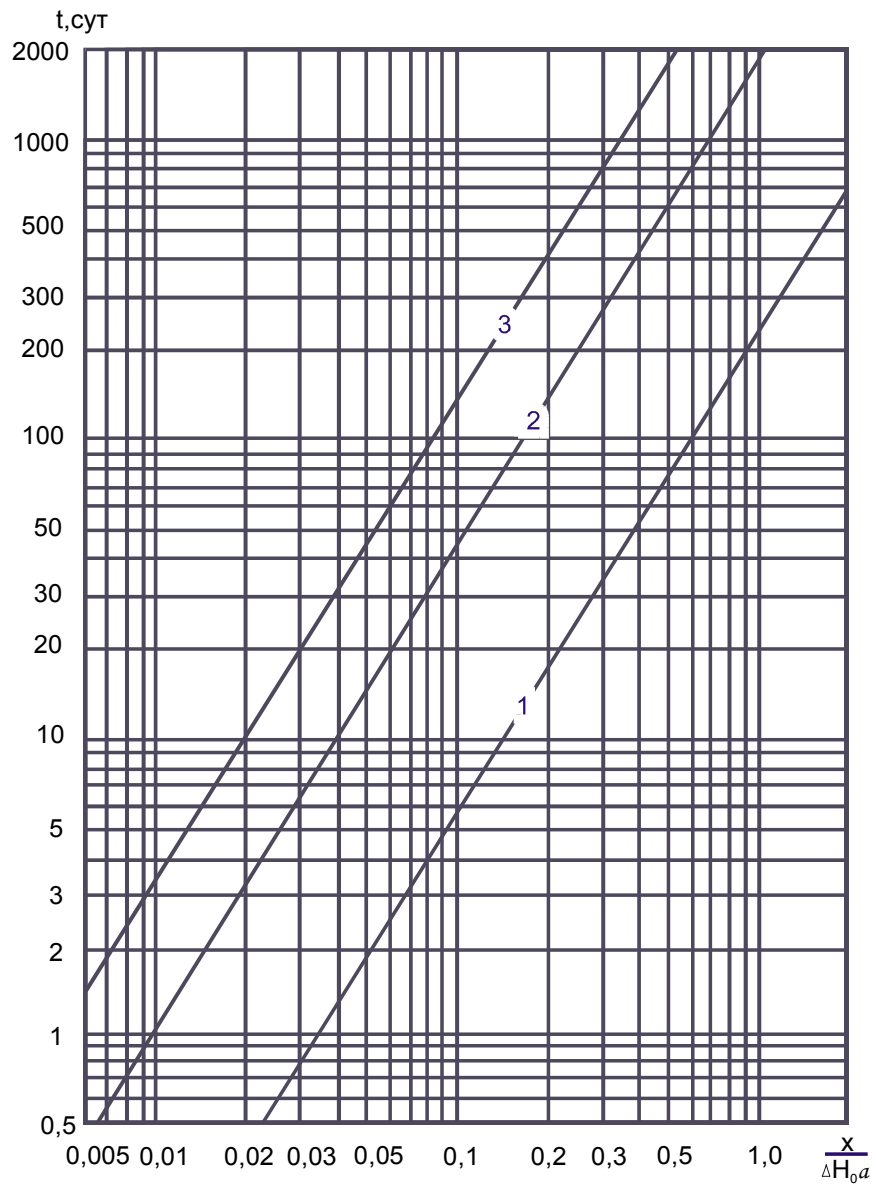


Рисунок 7 График определения времени формирования зон влияния.

Таблица 10 Приближенные значения коэффициентов водоотдачи (μ) для различных грунтов

Грунты	μ
Суглинки тяжелые	0,005...0,02
Суглинки средние	0,02...0,04
Суглинки легкие	0,04...0,06
Супеси средние	0,06...0,15
Супеси легкие, пески тонко и мелкозернистые	0,08...0,20
Пески среднезернистые	0,12...0,25
Пески крупнозернистые	0,20...0,35
Пески гравелистые	0,25...0,35
Известняки трещиноватые	0,01...0,10

Пример расчета снижения уровня грунтовых вод в пойме реки

Определить, на каком расстоянии x от русла реки снижение уровня ΔH достигнет 0,2 м при следующих условиях: $k=10$ м/сут; $h=22$ м; $\mu=0,08$; $\Delta H_0=0,5$ м; $t=30$ сут.

Найдем $a=10$ м/сут $\cdot 22$ м / $0,08=2750$ м²/сут. Далее определяем x . По формуле (18) получим $\frac{\Delta H}{\Delta H_0} = \frac{0,2}{0,5} = 0,4$ и по этому значению в таблице 9 найдем аргумент

$z=0,5716$. Тогда расстояние до точки $x = z \cdot 2 \cdot \sqrt{a \cdot t} = 0,5716 \cdot 2 \cdot \sqrt{2750 \cdot 30} = 328$ м.

Определить, какое снижение УГВ ΔH следует ожидать на расстоянии 500 м от реки при тех же исходных параметрах.

Подставляя в выражение $\frac{x}{\Delta H_0 \cdot a}$ исходные параметры, получаем

$$\frac{x}{\Delta H_0 \cdot a} = \frac{500}{0,5 \cdot 2750} = 0,36,$$

согласно которому на прямой 2 рисунка 7 находим t , равным примерно 370 суток. Затем по формуле (17) находим снижение УГВ в заданной точке

$$\Delta H = 0,5 \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{500}{2 \cdot \sqrt{2750 \cdot 370}} \right) = 0,36 \text{ м.}$$

Определить насколько снизится УГВ в пойме реки на расстоянии 500 м в межень период по сравнению с весенним половодьем при тех же исходных параметрах.

Средняя глубина потока воды в русле во время весеннего паводка в средний по водности год равна $h=1,63$ м, а в межсенный период в очень засушливый год ($P=95\%$) равна $h=0,18$ м (минимальный расход воды в летний период равен $Q=0,0029$ м³/с, по графику рисунок 5 при $K_{необ}=0,10$). Таким образом падение уровня в реке составляет $\Delta H_0=1,45$ м. Время от начала снижения уровня воды в русле реки принимаем равное $t=90$ сут.

Подставляя в выражение $\frac{x}{\Delta H_0 \cdot a}$ исходные параметры, получаем

$$\frac{x}{\Delta H_0 \cdot a} = \frac{500}{1,45 \cdot 2750} = 0,13, \text{ согласно которому на прямой 2 рисунка 13 находим}$$

t , равным примерно 58 суток. Затем по формуле (17) находим снижение УГВ в заданной точке $\Delta H = 0,5 \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{500}{2 \cdot \sqrt{2750 \cdot 58}}\right) = 0,19$ м. Через 90 суток падение

уровня будет равно $\Delta H = 0,5 \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{500}{2 \cdot \sqrt{2750 \cdot 90}}\right) = 0,24$ м. Таким образом сни-

жение уровня воды в реке не вызовет существенных изменений водного режима поймы реки. Оптимальные уровни грунтовых вод приведены в таблице 11.

Таблица 11 Оптимальные УГВ для сельскохозяйственного использования пойм

Сельскохозяйственное использование земель	Нормы осушения, см		
	период предпо- севной обработки и уборки урожая	первый месяц вегетации	в среднем за вегетацию
Полевые, кормовые, овощные севообороты	40-60	-	90-110
Пастбища	-	70-90	90-110
Сенокосы	-	40-60	60-80

Примечание: меньшие значения норм осушения принимаются для песчаных и супесчаных почв, большие – для связных минеральных почв и торфяников.

2 ПРОГНОЗ ВЫНОСА БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДОТОКИ

В условиях интенсификации сельского хозяйства существенно меняется хозяйственно-биологический круговорот питательных веществ (азот, фосфор, калий, кальций, натрий, сера и др.), обостряются экологические проблемы, в том числе связанные с загрязнением водных ресурсов. Для оценки роли сельскохозяйственного производства в биогенном загрязнении водных объектов выясняются и характеризуются источники поступления и пути миграции этих веществ.

Теоретической основой расчета являются известные агрохимические зависимости, связывающие величину выноса с характером почв, культурами и их урожайностью.

В общем случае, объем поступления биогенных элементов в водотоки (W_{63}) складывается из выноса биогенных веществ в зависимости от урожайности сельскохозяйственных культур (W_y) и выноса в результате потерь удобрений (W_n) на всех стадиях технологического цикла (транспортировка к угодьям, складирование, внесение и др.)

$$W_{63} = W_y + W_n, \text{ кг/год}; \quad (19)$$

$$W_y = R \cdot F, \text{ кг/год}, \quad (20)$$

где R – удельное количество вымывания биогенного вещества из почв сельскохозяйственных угодий для исследуемой культуры, кг/га; F – площадь, занятая исследуемой культурой, га.

$$R = \alpha \cdot K \cdot Y, \text{ кг/год}, \quad (21)$$

где α – коэффициент выноса биогенного вещества из почв для исследуемой культуры (Приложение 8); K – вынос биогенного вещества с растительной массой урожая, кг/ц (Приложение 9); Y – урожайность исследуемой культуры, ц/га.

$$W_n = W_i \cdot d \cdot P, \text{ кг/год} \quad (22)$$

где W_i – суммарное количество i -того биогенного вещества, внесенного с удобрениями на участок, кг; d – доля потерь i -того биогенного вещества в результате нарушений технологий их использования (Приложение 10); P – коэффициент, учитывающий удаленность сельскохозяйственных участков от уреза воды (Приложение 11).

2.1 Расчет потребного количества удобрений

Для оценки поступления биогенных веществ в речной бассейн выяснятся ассортимент и количество используемых в хозяйствах удобрений по прилагаемой схеме.

Таблица 12 Расчет потребного количества удобрений

Сельскохозяйственная культура	Площадь, га	Урожайность, ц/га	Доза удобрений на 1 га			Количество удобрений на всю площадь				
			Органические, т	Минеральные, кг д.в.			Органические, т	Минеральные, кг д.в.		
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Графы 1, 2, 3 заполняются согласно заданию, а - 4, 5, 6, 7 из Приложения 12.

Таблица 13 Количество и состав используемых удобрений

Вид удобрения	Количество (физическая масса), т	Стандартное содержание действующего вещества, %			Количество действующего вещества (д.в.), т		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	2	3	4	5	6	7	8

Графа 2 заполняется на основании графы 8, 9, 10, 11 таблица 12, графы 3, 4, 5, согласно Приложению 13.

Для пересчета дозы минеральных удобрений в килограммах действующего вещества на физические удобрения, необходимо указанную дозу умножить на 100 и разделить на процент действующего вещества в соответствующих удобрениях.

2.2 Вынос биогенных элементов с водосбора реки

Объем поступления биогенных веществ в водотоки определяется в табличной форме.

Таблица 14 Вынос биогенных веществ с урожаем сельскохозяйственных культур (W_y)

Сельскохозяйственная культура	Коэффициент вымывания, α			Вынос биогенных веществ с урожаем, К кг/ц			W _y = α·К·У·F, кг/год		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Таблица 15 Вынос биогенных веществ в результате потерь удобрений (W_n)

Вид удобрений	P	d	Внесено удобрений, кг д.в.			W _n =W _i ·P·d, кг/год		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Затем определяется суммарный вынос биогенных элементов со всей площади сельскохозяйственных угодий и удельные показатели биогенной нагрузки на водоток.

Удельная величина выноса биогенных веществ с одного гектара на один миллиметр средневзвешенного поверхностного склонового стока определяется

по формуле $W_i = \frac{W_{\text{бз}}}{F \cdot S_n}$, где S_n – средневзвешенный поверхностный склоновый

сток, зависящий от величины слоя стока половодья на реках, мм.

Величину среднего слоя стока половодья на реках определяют по Приложению 14, согласно координат центра тяжести водосбора. S_n – по приложению 15 для среднего по водности года обеспеченностью 25-75%. По удельной величине выноса биогенных веществ с одного гектара средневзвешенного поверхностного склонового стока определяется концентрация биогенных веществ в склоновом

стоке по выражению $C = \frac{100 \cdot W_{\text{бз}}}{S_n}$, мг/л.

Определенную концентрацию биогенных веществ в поверхностном стоке сопоставляем с ПДК вредных веществ в воде водных объектов (Приложение 16) и если она превышает нормативы, тогда планируем природоохранные мероприятия.

Пример расчета биогенной нагрузки на водные объекты.

Река Мухавец у г.Пружаны. Площадь сельскохозяйственных угодий на водосборе 4200 га.

Суммарный вынос биогенных веществ в р.Мухавец у г. Пружаны составит: по азоту - 174552 кг, по фосфору – 55440 кг, по калию 216864 кг.

Удельная величина выноса биогенных веществ с 1 га сельскохозяйственный угодий составит: по азоту – 42 кг/га, по фосфору – 13 кг/га, по калию – 52 кг/га, а т.к. величина средневзвешенного склонового стока обеспеченностью 25-75% составляет 35 мм, то концентрация биогенных элементов в поверхностном стоке составит: по азоту – 120 мг/л, фосфору – 37 мг/л, калию – 148 мг/л.

Сопоставляем полученную концентрацию средневзвешенного поверхностного склонового стока с предельно допустимыми концентрациями вредных веществ в воде водных объектов, используемых для рыбохозяйственных целей (Приложение 16) и делаем вывод о необходимости природоохранных мероприятий на водосборе.

Таблица 16 Расчет потребного количества удобрений

Сельскохозяйственная культура	Площадь с/х угодий (40% от А), га	Урожай, ц/га	Норма удобрений на 1 га						Всего удобрений				
			Органические, т			Минеральные, кг д.в.			Органические, т	Минеральные, кг д.в.			
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
Озимая пшеница	600	40	40	110	80	110	24000	66000	48000	66000			
Озимая рожь	600	40	40	110	80	110	24000	66000	48000	66000			
Пшеница яровая	600	25	30	90	60	90	18000	54000	36000	54000			
Ячмень яровой	600	50	30	90	60	90	18000	54000	36000	54000			
Картофель	1200	300	80	100	70	100	96000	120000	84000	120000			
Многолетние травы на сено	600	50	--	80	60	100	--	48000	36000	60000			
Итого:	4200						180000	408000	288000	420000			

Таблица 17 Количество и состав используемых удобрений

Вид удобрения	Количество (физическая масса), т	Стандартное содержание д.в., %			Количество действующего вещества (д.в.), кг		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Органические:							
Навоз свежий КРС	100000	0.45	0.23	0.50	450000	230000	500000
Навоз смешанный после 3-х месяцев хранения	80000	0.54	0.25	0.70	432000	200000	560000
Итого:	180000				882000	430000	1060000
Минеральные:							
Суперфосфат двойной	520000	--	40.0	--	--	208000	--
Хлористый калий	642000	--	--	53.0	--	--	340000
Аммиачная селитра	959000	34.5	--	--	328000		
Нитроаммофоска		16.0	16.0	16.0	80000	80000	80000
Итого:					408000	288000	420000
Всего:					1290000	718000	1480000

Таблица 18 Вынос биогенных веществ с урожаем сельскохозяйственных культур

Сельскохозяйственная культура	Коэффициент вымывания (α)			Вынос биогенных веществ с урожаем (К), кг/ц			$W_y = \alpha \cdot K \cdot Y \cdot F$, кг/год		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Озимая пшеница	0.16	0.12	0.07	3.40	0.90	2.00	13056	2592	3360
Озимая рожь	0.28	0.11	0.36	2.45	1.20	1.60	16464	3168	22464
Пшеница яровая	0.32	0.08	0.27	3.30	1.40	2.60	15840	1680	10530
Ячмень яровой	0.16	0.04	0.12	2.60	1.04	1.70	12480	1248	6120
Картофель	0.30	0.19	0.33	0.50	0.15	0.70	54000	10260	83160
Многолетние травы на сено	--	0.20	0.30	1.76	0.63	1.95	--	3780	17550
Итого:							111840	22728	143184

Таблица 19 Вынос биогенных веществ в результате потерь удобрений

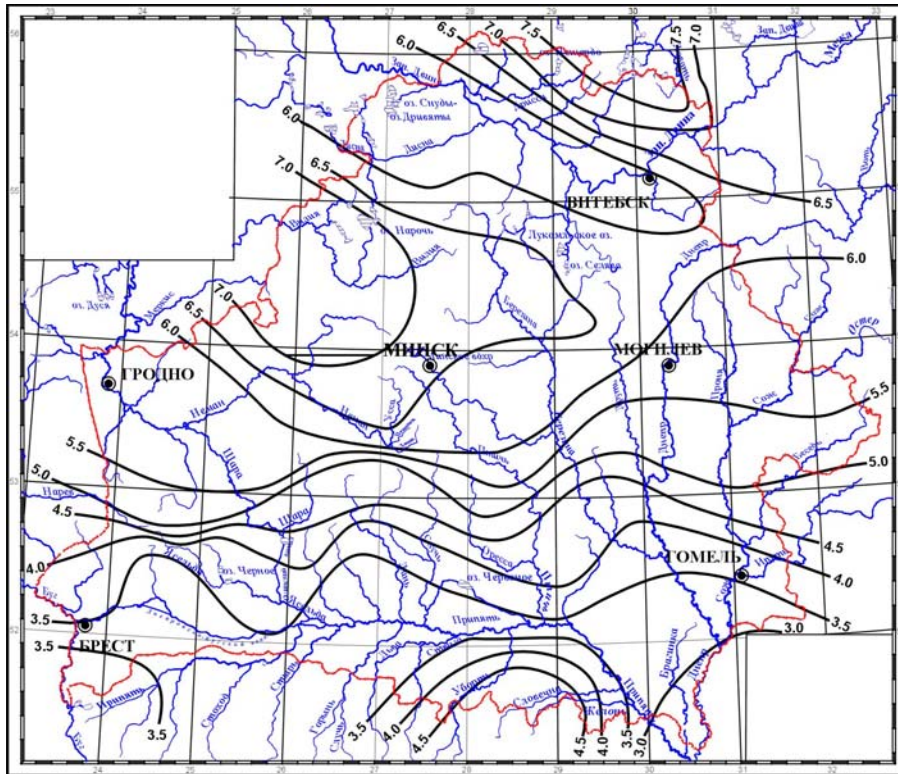
Вид удобрения	d, %	P	Внесено удобрений (W_i)			$W_{п} = W_i \cdot P \cdot d$, кг/год		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Органические	10.0	0.6	882000	430000	1060000	52920	25800	63600
Минеральные	4.0	0.6	408000	288000	420000	9792	6912	10080
Итого			129000	718000	1480000	62712	32712	73680

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические рекомендации по определению размеров зоны влияния мелиоративных систем на уровень грунтовых вод прилегающих земель. – Минск: ЦНИИКИВР, 1977. – 30.
2. Пособие П1-98 к СНиП 2.01.14-83 Определение расчетных гидрологических характеристик. Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2000. – 268 с.
3. Правила охраны поверхностных вод от загрязнения. Госкомприроды СССР. – М. 1990. – 68с.
4. Рекомендации. Расчет поступления биогенных элементов в водоемы для прогноза их эвтрофирования и выбора водоохраных мероприятий. – М. Росагропромиздат. 1989. 48с.
5. СНиП 2.06.03-85. Мелиоративные системы и сооружения/ Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 60 с.
6. Справочник по гидравлике/ Под ред. В.А. Большакова. Киев: Вища школа, 1977. – 280 с.
7. Фащевский Б.В. Основы экологической гидрологии. – Минск: Экоинвест, 1996. – 240 с.
8. Чугаев Р.Р. Гидравлика. Л.: Энергоиздат, 1982. – 672 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Карта среднегодового поверхностного годового стока рек Беларуси, л/с·км².



ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Значения модульных коэффициентов (k_p) для трехпараметрического гамма-распределения

Обеспеченность (P)%	Значения модульных коэффициентов (k_p) для трехпараметрического гамма-распределения при величинах (C_v), равных										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$C_s=2C_v$											
0,001	1	1,49	2,09	2,82	3,68	4,67	5,78	7,03	8,40	9,89	11,5
0,01	1	1,42	1,92	2,52	3,20	3,98	4,85	5,81	6,85	7,98	9,21
0,03	1	1,38	1,83	2,36	2,96	3,64	4,39	5,22	6,11	7,08	8,11
0,05	1	1,36	1,79	2,29	2,85	3,48	4,18	4,95	5,77	6,66	7,60
0,1	1	1,34	1,73	2,19	2,70	3,27	3,87	4,56	5,30	6,08	6,91
0,3	1	1,30	1,64	2,02	2,45	2,91	3,42	3,96	4,55	5,16	5,81
0,5	1	1,28	1,59	1,94	2,32	2,74	3,20	3,68	4,19	4,74	5,30
1	1	1,25	1,52	1,82	2,16	2,51	2,89	3,29	3,71	4,15	4,60
3	1	1,20	1,41	1,64	1,87	2,13	2,39	2,66	2,94	3,21	3,51
5	1	1,17	1,35	1,54	1,74	1,94	2,15	2,36	2,57	2,78	3,00
10	1	1,13	1,26	1,40	1,54	1,67	1,80	1,94	2,06	2,19	2,30
20	1	1,08	1,16	1,24	1,31	1,38	1,44	1,50	1,54	1,58	1,61
25	1	1,06	1,13	1,18	1,23	1,28	1,31	1,34	1,37	1,38	1,39

Приложение 2 Значения модульных коэффициентов (k_p) для трехпараметрического гамма-распределения

Обеспеченность (P)%	Значения модульных коэффициентов (k_p) для трехпараметрического гамма-распределения при величинах (C_v), равных										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$C_s=2C_v$											
0,001	1	1,49	2,09	2,82	3,68	4,67	5,78	7,03	8,40	9,89	11,5
0,01	1	1,42	1,92	2,52	3,20	3,98	4,85	5,81	6,85	7,98	9,21
0,03	1	1,38	1,83	2,36	2,96	3,64	4,39	5,22	6,11	7,08	8,11
0,05	1	1,36	1,79	2,29	2,85	3,48	4,18	4,95	5,77	6,66	7,60
0,1	1	1,34	1,73	2,19	2,70	3,27	3,87	4,56	5,30	6,08	6,91
0,3	1	1,30	1,64	2,02	2,45	2,91	3,42	3,96	4,55	5,16	5,81
0,5	1	1,28	1,59	1,94	2,32	2,74	3,20	3,68	4,19	4,74	5,30
1	1	1,25	1,52	1,82	2,16	2,51	2,89	3,29	3,71	4,15	4,60
3	1	1,20	1,41	1,64	1,87	2,13	2,39	2,66	2,94	3,21	3,51
5	1	1,17	1,35	1,54	1,74	1,94	2,15	2,36	2,57	2,78	3,00
10	1	1,13	1,26	1,40	1,54	1,67	1,80	1,94	2,06	2,19	2,30
20	1	1,08	1,16	1,24	1,31	1,38	1,44	1,50	1,54	1,58	1,61
25	1	1,06	1,13	1,18	1,23	1,28	1,31	1,34	1,37	1,38	1,39

Продолжение приложения 2

Обеспеченность (P)%	Значения модульных коэффициентов (k_p) для трехпараметрического гамма-распределения при величинах (C_v), равных										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$C_s=2C_v$											
30	1	1,05	1,09	1,13	1,16	1,19	1,21	1,22	1,22	1,22	1,20
40	1	1,02	1,04	1,05	1,05	1,04	1,03	1,01	0,984	0,955	0,916
50	1	0,997	0,986	0,970	0,948	0,918	0,886	0,846	0,800	0,748	0,693
60	1	0,972	0,938	0,898	0,852	0,803	0,748	0,692	0,632	0,568	0,511
70	1	0,945	0,886	0,823	0,760	0,691	0,622	0,552	0,488	0,424	0,357
75	1	0,931	0,858	0,784	0,708	0,634	0,556	0,489	0,416	0,352	0,288
80	1	0,915	0,830	0,745	0,656	0,574	0,496	0,419	0,352	0,280	0,223
90	1	0,873	0,754	0,640	0,532	0,436	0,352	0,272	0,208	0,154	0,105
95	1	0,842	0,696	0,565	0,448	0,342	0,256	0,181	0,120	0,082	0,051
97	1	0,821	0,660	0,517	0,392	0,288	0,202	0,139	0,088	0,046	0,030
99	1	0,782	0,594	0,436	0,304	0,206	0,130	0,076	0,040	0,019	0,010
99,5	1	0,761	0,560	0,394	0,269	0,166	0,099	0,054	0,027	0,012	0,005
99,7	1	0,748	0,537	0,374	0,240	0,144	0,082	0,042	0,019	0,008	0,003
99,9	1	0,719	0,492	0,319	0,192	0,107	0,052	0,027	0,008	0,004	0,001

Продолжение приложения 2

Обеспеченность (P)%	Значения модульных коэффициентов (k_p) для трехпараметрического гамма-распределения при величинах (C_v), равных									
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
$C_s=2C_v$										
0,001	13,20	15,10	17,20	19,30	21,60	23,90	26,20	28,60	31,30	34,40
0,01	10,50	11,80	13,20	14,70	16,40	18,20	20,20	22,20	24,40	26,60
0,03	9,20	10,30	11,60	12,90	14,30	15,60	17,00	18,50	20,00	21,40
0,05	8,61	9,65	10,80	11,90	13,10	14,20	15,50	16,70	18,00	19,40
0,1	7,75	8,65	9,60	10,60	11,60	12,50	13,50	14,60	15,80	17,00
0,3	6,47	7,10	7,98	8,70	9,50	10,50	11,00	11,90	12,70	13,60
0,5	5,90	6,50	7,13	7,80	8,42	9,00	9,50	10,10	10,80	11,40
1	5,05	5,53	6,02	6,55	7,08	7,50	8,00	8,60	9,20	9,80
3	3,80	4,12	4,42	4,71	4,98	5,20	5,50	5,80	6,20	6,50
5	3,22	3,40	3,60	3,80	3,96	4,00	4,30	4,50	4,70	5,00
10	2,40	2,50	2,57	2,64	2,70	2,70	2,60	2,60	2,60	2,60
20	1,62	1,63	1,62	1,61	1,59	1,60	1,60	1,56	1,50	2,50
25	1,39	1,35	1,33	1,31	1,28	1,26	1,24	1,22	1,20	1,18

Продолжение приложения 2

Обеспеченность (P)%	Значения модульных коэффициентов (k_p) для трехпараметрического гамма-распределения при величинах (C_v), равных									
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
$C_s=2C_v$										
30	1,18	1,14	1,11	1,08	1,04	1,015	0,980	0,950	0,920	0,890
40	0,870	0,830	0,770	0,725	0,670	0,625	0,580	0,530	0,480	0,440
50	0,640	0,580	0,520	0,460	0,405	0,355	0,310	0,265	0,230	0,200
60	0,450	0,390	0,334	0,283	0,234	0,190	0,160	0,130	0,105	0,085
70	0,300	0,250	0,203	0,155	0,120	0,090	0,070	0,060	0,050	0,045
75	0,241	0,193	0,146	0,106	0,077	0,060	0,050	0,040	0,030	0,025
80	0,175	0,130	0,094	0,065	0,046	0,035	0,027	0,020	0,015	0,010
90	0,074	0,049	0,030	0,016	0,009	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001
95	0,030	0,016	0,009	0,004	0,002	0,001	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$
97	0,016	0,008	0,004	0,002	0,001	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-6}$
99	0,005	0,002	0,001	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$
99,5	0,002	0,001	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	0	0	0
99,7	0,001	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	0	0	0	0
99,9	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	0	0	0	0	0

Продолжение приложения 2

Обеспеченность (P)%	Значения модульных коэффициентов (k_p) для трехпараметрического гамма-распределения при величинах (C_v), равных									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$C_s=2,5C_v$										
0,001	1,52	2,18	3,05	4,13	5,41	6,90	8,61	10,50	12,60	14,80
0,01	1,44	1,98	2,67	3,49	4,45	5,54	6,76	8,10	9,55	11,10
0,03	1,40	1,88	2,48	3,18	4,00	4,91	5,93	7,02	8,20	9,46
0,05	1,38	1,83	2,39	3,04	3,79	4,62	5,54	6,53	7,59	8,72
0,1	1,35	1,77	2,27	2,85	3,51	4,24	5,04	5,90	6,80	7,76
0,3	1,30	1,66	2,08	2,55	3,07	3,64	4,26	4,91	5,58	6,28
0,5	1,28	1,61	1,99	2,41	2,87	3,36	3,90	4,46	5,03	5,63
1	1,25	1,54	1,86	2,21	2,59	3,00	3,42	3,87	4,32	4,78
3	1,20	1,42	1,65	1,90	2,15	2,42	2,69	2,96	3,23	3,50
5	1,17	1,35	1,55	1,74	1,95	2,15	2,35	2,55	2,75	2,94
10	1,13	1,26	1,40	1,53	1,66	1,78	1,90	2,01	2,12	2,22
20	1,08	1,16	1,23	1,30	1,36	1,41	1,45	1,49	1,52	1,54

Продолжение приложения 2

Обеспеченность (P)%	Значения модульных коэффициентов (k_p) для трехпараметрического гамма-распределения при величинах (C_v), равных									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$C_s=2,5C_v$										
25	1,07	1,12	1,18	1,22	1,26	1,28	1,31	1,32	1,33	1,33
30	1,05	1,09	1,13	1,15	1,17	1,18	1,18	1,18	1,17	1,16
40	1,02	1,04	1,04	1,04	1,03	1,01	0,989	0,962	0,930	0,895
50	0,997	0,984	0,964	0,938	0,906	0,870	0,830	0,787	0,742	0,695
60	0,972	0,935	0,893	0,847	0,797	0,745	0,692	0,639	0,586	0,533
70	0,945	0,885	0,822	0,758	0,693	0,629	0,567	0,506	0,449	0,395
75	0,931	0,858	0,785	0,712	0,640	0,571	0,505	0,443	0,385	0,332
80	0,915	0,830	0,745	0,663	0,585	0,512	0,444	0,381	0,324	0,272
90	0,875	0,757	0,648	0,549	0,459	0,381	0,310	0,250	0,198	0,155
95	0,843	0,702	0,576	0,467	0,373	0,293	0,227	0,172	0,128	0,093
97	0,823	0,667	0,533	0,420	0,325	0,247	0,184	0,134	0,095	0,065
99	0,784	0,606	0,459	0,341	0,248	0,175	0,120	0,080	0,052	0,032
99,9	0,727	0,513	0,353	0,235	0,151	0,093	0,055	0,030	0,016	0,008

Продолжение приложения 2

Обеспеченность (P)%	Значения модульных коэффициентов (k_p) для трехпараметрического гамма-распределения при величинах (C_v), равных									
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
$C_s=2,5C_v$										
0,001	17,20	19,90	22,60	25,60	28,70	32,10	35,80	39,70	43,90	48,40
0,01	12,80	14,60	16,40	18,40	20,40	22,50	24,70	27,00	29,30	31,90
0,03	10,80	12,20	13,70	15,20	16,80	18,50	20,20	22,10	24,00	26,00
0,05	9,92	11,20	12,50	13,80	15,20	16,70	18,20	19,80	21,50	23,20
0,1	8,76	9,81	10,90	12,00	13,20	14,40	15,70	17,00	18,40	19,80
0,3	7,02	7,78	8,56	9,36	10,20	11,10	12,00	13,00	14,10	15,20
0,5	6,25	6,89	7,54	8,20	8,88	9,56	10,30	11,00	11,80	12,60
1	5,26	5,73	6,22	6,71	7,20	7,70	8,20	8,71	9,22	9,74
3	3,77	4,04	4,30	4,56	4,81	5,06	5,30	5,54	5,78	6,01
5	3,13	3,31	3,48	3,65	3,81	3,96	4,11	4,26	4,39	4,52
10	2,31	2,39	2,46	2,53	2,59	2,64	2,69	2,73	2,76	2,79
20	1,55	1,56	1,56	1,55	1,54	1,52	1,50	1,47	1,44	1,41

Продолжение приложения 2

Обеспеченность (P)%	Значения модульных коэффициентов (k_p) для трехпараметрического гамма-распределения при величинах (C_v), равных									
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
$C_s=2,5C_v$										
25	1,32	1,31	1,29	1,27	1,24	1,21	1,17	1,14	1,10	1,05
30	1,14	1,11	1,08	1,05	1,01	0,972	0,931	0,888	0,843	0,797
40	0,857	0,816	0,773	0,729	0,684	0,638	0,592	0,545	0,497	0,447
50	0,648	0,600	0,552	0,505	0,459	0,415	0,373	0,332	0,295	0,259
60	0,482	0,432	0,385	0,340	0,298	0,259	0,224	0,191	0,162	0,136
70	0,344	0,297	0,254	0,215	0,180	0,149	0,122	0,099	0,079	0,062
75	0,283	0,238	0,199	0,164	0,133	0,107	0,085	0,066	0,051	0,039
80	0,226	0,185	0,149	0,119	0,094	0,072	0,055	0,041	0,030	0,022
90	0,118	0,089	0,066	0,047	0,033	0,023	0,015	0,010	0,006	0,004
95	0,066	0,046	0,030	0,020	0,012	0,008	0,004	0,002	0,001	0,001
97	0,044	0,028	0,018	0,011	0,006	0,003	0,002	0,001	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$
99	0,019	0,011	0,006	0,003	0,001	0,001	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$
99,9	0,004	0,001	0,001	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$4,0 \cdot 10^{-7}$	$9,0 \cdot 10^{-8}$

