ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЁТНОГО МАКСИМАЛЬНОГО РАСХОДА ВОДЫ (INDORCAD)

1. Задание вероятности превышения расчётного максимального расхода воды

Водопропускные сооружения проектируют на пропуск расчётного максимального расхода воды заданной вероятности превышения. *Вероятность превышения* (ВП) – это вероятность превышения расчётного максимального расхода воды ещё бóльшим по значению расходом. Она нормируется в зависимости от типа искусственного сооружения и категории дороги. Нормативные значения вероятности превышения для мостов и труб в зависимости от категории дороги даны в **СП 35.13330.2011 Мосты и трубы** [1]. Они приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Вероятности превышения для малых искусственных сооружений

Категория дороги	ВП, %
I	1
II, III	2
IV, дороги низкой категории	3

Можно сказать, что вероятность превышения расчётного максимального расхода воды – это вероятность возникновения опасных условий работы сооружения. Чем выше категория дороги, тем меньше вероятность превышения.

2. Определение параметров водосборного бассейна

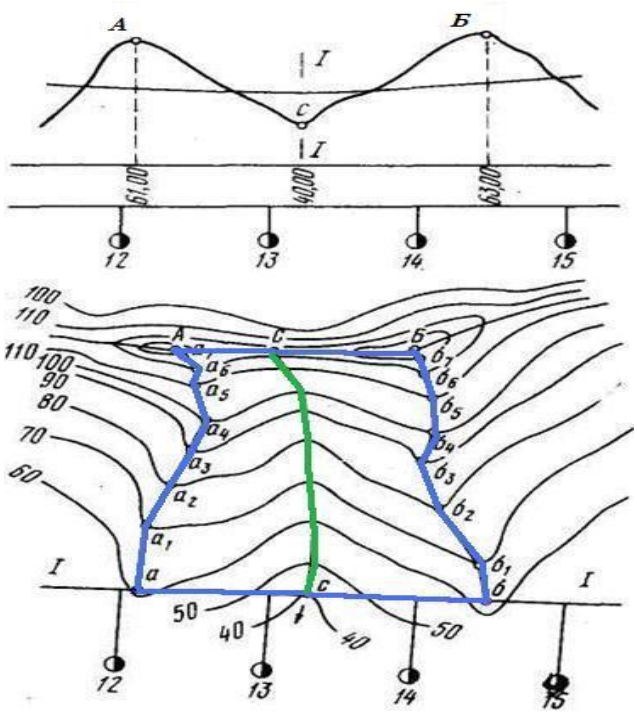


Рисунок 1 – Границы бассейна и тальвег

Вода, которая образуется на поверхности земли в результате ливня или снеготаяния, собирается и стекает к пониженным местам с определённой территории, называемой *водосборным бассейном*. *Границами бассейна* являются водоразделы, а также существующие и проектируемые дороги (на рис. 1 – синяя линия). Линия, соединяющая наиболее пониженные точки бассейна, называется *тальвегом* (*нем.* ***Talweg***, от ***Tal*** «долина» и ***Weg*** «дорога») – зелёная линия на рисунке. *Русло* – это часть речной долины, по которой происходит сток воды в межпаводочные периоды. Для постоянных малых водотоков русло и тальвег обычно совпадают.

Границы водосборного бассейна в программе IndorCAD рисуют ситуационной линией. Для этого сначала делают видимой триангуляцию (чтобы не выйти за пределы ИЦММ) и активируют команду: «**Главная > Линии > По существующим и новым точкам**». Последовательным щёлканьем левой кнопкой мыши рисуют ломаную линию вдоль водоразделов, существующей и проектируемой дорог. Если ошибочно построен какой-нибудь узел, то, щелкнув в процессе построения правой кнопкой мыши, в появившемся контекстном меню следует выбрать позицию **«Отменить узел»**. Чтобы замкнуть

линию, нужно поставить курсор на первую точку ломаной – курсор перейдёт в режим «**Захват**» – и щёлкнуть левой кнопкой мыши. Замкнутая ломаная линия превратится в полигон и подсветится жёлтым цветом. В появившемся окне «**Параметры**» нужно убрать все флажки, если они автоматически проставлены, и нажать кнопку «**ОК**».

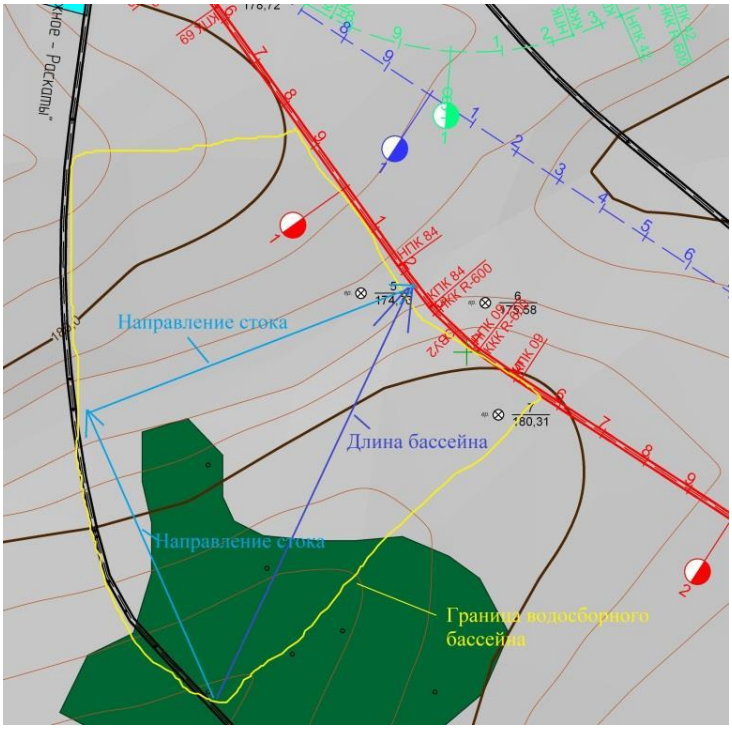


Рисунок 2 – Пример бассейна со сложным движением воды

К определяемым параметрам бассейна относятся:

- площадь водосборного бассейна F, км^2;
- длина бассейна L, км;
- средний уклон бассейна:

В окне **«Свойства»** проверяем статус полигона (на ЦММ уже построено несколько полигонов, поэтому перед заданием свойств нужно убедиться, что именно полигон, описывающий бассейн, является активным – подсвечен жёлтым цветом). Переключатель должен быть в позиции «**Ситуационный**», иначе полигон нарушит триангуляцию ЦММ.

В окне свойств на ветке «**Свойства контуров полигона > Информация**» определяем площадь бассейна по поверхности, для чего нажимаем на графическую кнопку <**Вычислить**>. Величина площади по поверхности – это и есть *площадь водосборного бассейна*. Значение площади выписываем в пояснительную записку, например S = 207430,38 м^2. И переводим это значение в квадратные километры (умножаем на 10^{-6}): Например, S = 207430,38 м^2 = 0,21 км^2.

Полигон можно закрасить каким-либо цветом. В окне «**Свойства**» в разделе «**Свойства полигонов**» в позиции «**Стиль заливки > Индивидуальный > Цвет фона**» нужно выбрать понравившийся цвет, желательно светлый, чтобы не закрашивать горизонтали. Например, светло-синий,

Чтобы определить *длину бассейна*, необходимо с помощью команды: «**Главная > Линии > По существующим и новым точкам**» построить линию тальвега от самой высокой точки бассейна до створа сооружения (зелёная линия на рис. 1). Если бассейн имеет несколько тальве-

гов или он расположен в седловидной форме рельефа, как на рис. 2, то линия, необходимая для определения длины и уклона бассейна, будет представлять собой результат сложения векторов, по которым идёт сток воды в бассейне. Вода с водораздела стекает в линию тальвега, имеющего небольшой уклон дна. По тальвегу вода направляется к створу искусственного сооружения. В этом случае в качестве длины бассейна имеет смысл назначать длину вектора (рис. 2).

Длина лини указана в её окне свойств: «**Свойства линий > Информация > Длина 3D**». Значение длины тальвега помещаем в пояснительную линию, например, L = 510,69 м = 0,511 км.

Чтобы определить *средний уклон бассейна*, необходимо подвести курсор к началу линии в вершине бассейна, тогда в левом нижнем углу экрана будут указаны координаты положения курсора и высотная отметка точки ИЦММ. Аналогичным образом определяют отметку рельефа в створе сооружения – в конце линии тальвега.

Средний уклон бассейна по тальвегу определяют по формуле

$$i = \frac{H_1 - H_0}{L}, \quad (1)$$

где H_1, H_0 – отметки рельефа в вершине бассейна (в начале линии тальвега) и створе сооружения (в конце линии тальвега) соответственно.

Уклон тальвега в створе сооружения:

$$i_c = \frac{H_в - H_н}{100}, \quad (2)$$

где $H_в$, $H_н$ – отметки дна бассейна на расстоянии 50 м от оси дороги вверх и вниз по тальвегу соответственно.

3. Определение максимального расхода ливневых вод

Значение расхода ливневых вод вычисляют по формуле

$$Q_л = 16{,}7 a_{час} K_t \alpha \varphi F, \quad (3)$$

где $a_{час}$ – интенсивность ливня часовой продолжительности, мм/мин; K_t – коэффициент перехода от интенсивности ливня часовой продолжительности к интенсивности ливня расчётной продолжительности; α – коэффициент потерь стока; φ – коэффициент редукции[1], F – площадь бассейна, км^2.

1. Для этого определяют по специальной карте-схеме *номер ливневого района* (см. Приложение, рис. П.1).

2. По табл. 2. в зависимости от номера ливневого района и ВП находят *интенсивность ливня часовой продолжительности* $a_{час}$.

[1] *Редýкция* (лат.reductio – сведение, возведение, приведение обратно) – приведение результатов наблюдений и измерений из одной системы отсчёта в другую путём введения в них некоторых поправок, обусловленных влиянием тех или иных причин.

Таблица 2 – Интенсивность ливня часовой продолжительности

Район	$a_ч$, мм/мин при ВП, %							
	10	5	4	3	2	1	0,3	0,1
1	0,27	0,27	0,29	0,32	0,34	0,40	0,49	0,57
2	0,29	0,36	0,39	0,42	0,45	0,50	0,61	0,75
3	0,29	0,41	047	0,52	0,58	0,70	0,95	1,15
4	0,45	0,59	0,64	0,69	0,74	0,90	1,14	1,32
5	0,46	0,62	0,69	0,75	0,82	0,97	1,26	1,48
6	0,49	0,65	0,73	0,81	0,89	1,01	1,46	1,79
7	0,54	0,74	0,82	0,89	0,97	1,15	1,50	1,99
8	0,79	0,98	1,07	1,15	1,24	1,41	1,78	2,07
9	0,81	1,02	1,11	1,20	1,28	1,48	1,83	2,14
10	0,82	1,11	1,23	1,35	1,46	1,74	2,25	2,65

3. По таблице 3 назначают *коэффициент перехода* K_t в зависимости от длины и уклона бассейна.

Таблица 3 – Коэффициенты перехода

L, км	Значения K_t при уклоне бассейна i							
	0,0001	0,001	0,01	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7
0,15	4,21	Полный сток 5,24						
0,30	2,57	3,86						
0,50	1,84	2,76	3,93					
0,75	1,41	2,08	2,97	4,50	5,05			
1,0	1,16	1,71	2,53	3,74	4,18	4,50	4,90	5,18
1,25	1,00	1,49	2,20	3,24	3,60	3,90	4,23	4,46
1,50	0,88	1,30	1,93	2,82	3,15	3,40	3,70	3,90
1,75	0,80	1,18	1,75	2,58	2,84	3,06	3,33	3,52
2,0	0,73	1,07	1,59	2,35	2,64	2,85	3,09	3,27
2,5	0,63	0,92	1,37	2,02	2,26	2,44	2,65	2,80
3,0	0,56	0,82	1,21	1,79	2,0	2,16	2,34	2,49

4. *Коэффициент потерь стока* α определяют по табл.4 в зависимости от вида и характера поверхности дна бассейна.

Таблица 4 – Коэффициент потерь стока

Вид и характер поверхности	Коэффициент α при площади F, км^2		
	0-1	1-10	10-100
Асфальт, бетон, скала без трещин	1,0	1,0	1,0
Жирная глина, тыкЫры[2]	0,7 – 0,95	0,65 – 0,95	0,65 – 0,9
Суглинки, подзолистые, тундровые и болотные почвы	0,6 – 0,9	0,55 – 0,8	0,5 – 0,75
Чернозём, лёсс, каштановые и карбонатные почвы	0,55 – 0,75	0,45 – 0,7	0,35 – 0,65
Супеси, степные почвы	0,3 – 0,55	0,2 – 0,5	0,2 – 0,45
Песчаные, гравелистые, рыхлые и каменистые почвы	0,2	0,15	0,10

5. Вычисляют *коэффициент редукции* φ:

[2] *ТыкЫры* – плоские глинистые поверхности, почти лишённые растительности в пустынях субтропической зоны

$$\varphi = \begin{cases} 1/\sqrt[4]{10F}, \text{ при } F > 0{,}1\,\text{км}^2, \\ 1, \qquad\quad \text{при } F \le 0{,}1\,\text{км}^2. \end{cases}$$

4. Определение максимального расхода талых вод

Максимальный расход талых вод находят по формуле

$$Q_{\text{т}} = \frac{k_0 h_{\text{р}} F \delta_1 \delta_2}{(F+1)^n}, \tag{4}$$

где k_0 – коэффициент дружности половодья; $h_{\text{р}}$ – расчетный слой суммарного стока той же вероятности превышения, что и расчетный расход, мм; δ_1 – коэффициент заозёренности; δ_2 – коэффициент зале́сенности и заболоченности; n – показатель степени.

1. *Коэффициент дружности половодья* k_0 зависит от вида местности (равнинной или горной) и определяется по табл. 5 и 6.

Таблица 5 – Коэффициент дружности половодья и показатель степени для равнинных районов

Природная зона	**Равнинные районы**	***n***	k_0
Тундра и лес	Европейская территория СНГ и Восточная Сибирь	0,17	0,01
	Западная Сибирь	0,25	0,013
Лесостепь и степь	Европейская территория (без Северного Кавказа)	0,25	0,02
	Северный Кавказ	0,25	0,03
	Западная Сибирь	0,25	0,03
Засушливая степь и полупустыня	Западный и Центральный Казахстан	0,35	0,06
	Центральный Алтай	0,35	0,0007

Таблица 6 – Коэффициент дружности половодья для горных районов

Горные районы	**Средняя высота бассейна над уровнем моря, м**	k_0
Урал	До 500	0,0025
	Более 500	0,0018
Алтай	До 1000	0,0025
	1000 – 2000	0,0015
	Более 2000	0,0010
Северо-восток России		0,003
Камчатка		0,001
Северный Сахалин		0,0014
Южный Сахалин		0,002

2. По карте средних слоёв талых вод определяют h' – *средний многолетний слой стока*, (см. Приложение, рис. П. 2).

3. По карте коэффициентов вариации слоёв стока талых вод, находят *значение коэффициента вариации* $C_{v,\text{карт}}$, (см. Приложение, рис. П. 3).

4. Так как карта составлена для водосборных бассейнов площадью более 200 км^2, то необходимо умножить его на *поправочный коэффициент* $k_{\text{попр}}$**,** который берут из табл. 7

$$C_v = C_{v,\text{карт}} \cdot k_{\text{попр}}. \tag{5}$$

Таблица 7 – Поправочный коэффициент

Площадь бассейна, км^2	$k_{попр}$
До 50	1,25
51 – 100	1,20
101 – 150	1,15
151 – 200	1,05

5. Выбирают *коэффициент асимметрии* C_s, табл. 8.

Таблица 8 – Коэффициент асимметрии

Район проектирования	Коэффициент асимметрии
Равнинные районы	$2C_v$
Северо-запад и северо-восток России (обильные дожди), горные районы	$3C_v$

6. По графикам (рис. 3) для расчётных величин P (вероятности превышения), C_v и C_s находят *значение модульного коэффициента слоя стока* $K_{р.}$

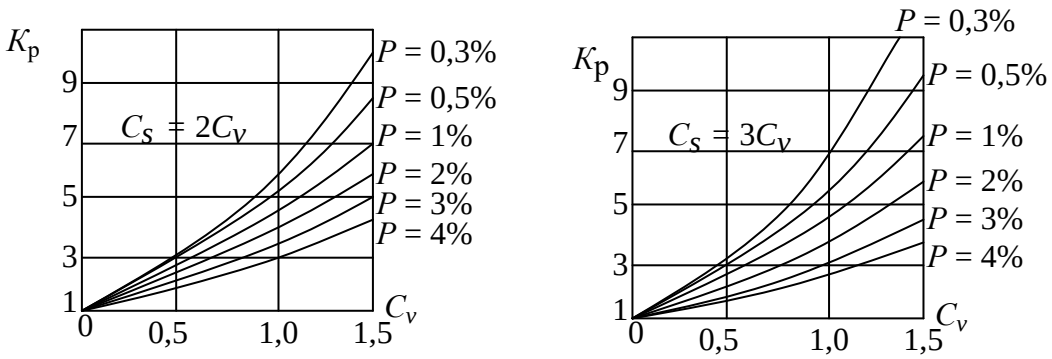


Рисунок 3 – Кривые модульных коэффициентов слоев стока

7. Вычисляют расчётный слой суммарного стока

$$h_р = h' K_р. \quad (6)$$

8. Задают *коэффициенты заозёренности, залесенности и заболоченности*. Для водосборов малой площади коэффициенты δ_1 и δ_2 можно принимать равными 1, т.к. озёра встречаются там редко, а лес часто вырубается во время строительства автомобильной дороги.

9. Назначают *значение показателя степени n*. Для равнинных рек его берут из табл. 5, для горных рек n принимают 0,15.

5. Назначение расчётного максимального расхода воды

В качестве расчётного максимального расхода воды принимают наибольший расход из найденных, т. е.

$$Q_р = \max(Q_л, Q_т). \quad (7)$$

Данный расчётный максимальный расход используют при гидравлических расчётах труб и малых мостов.

Источники информации

1. СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2011. – 287 с.

2. Федотов, Г.А. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. В 2-х кн. Кн. 1: Учебник / Г.А. Федотов, П.И. Поспелов. – М.: Высш. шк., 2009. – 646 с.

3. Проектирование переходов через водотоки: Методические указания к курсовой работе для студентов специальности 291000 «Автомобильные дороги и аэродромы» /Т.В. Гавриленко, П.В. Милашенко, Е.А. Иванова. – Красноярск: КрасГАСА, 2001. – 44с.

Приложение

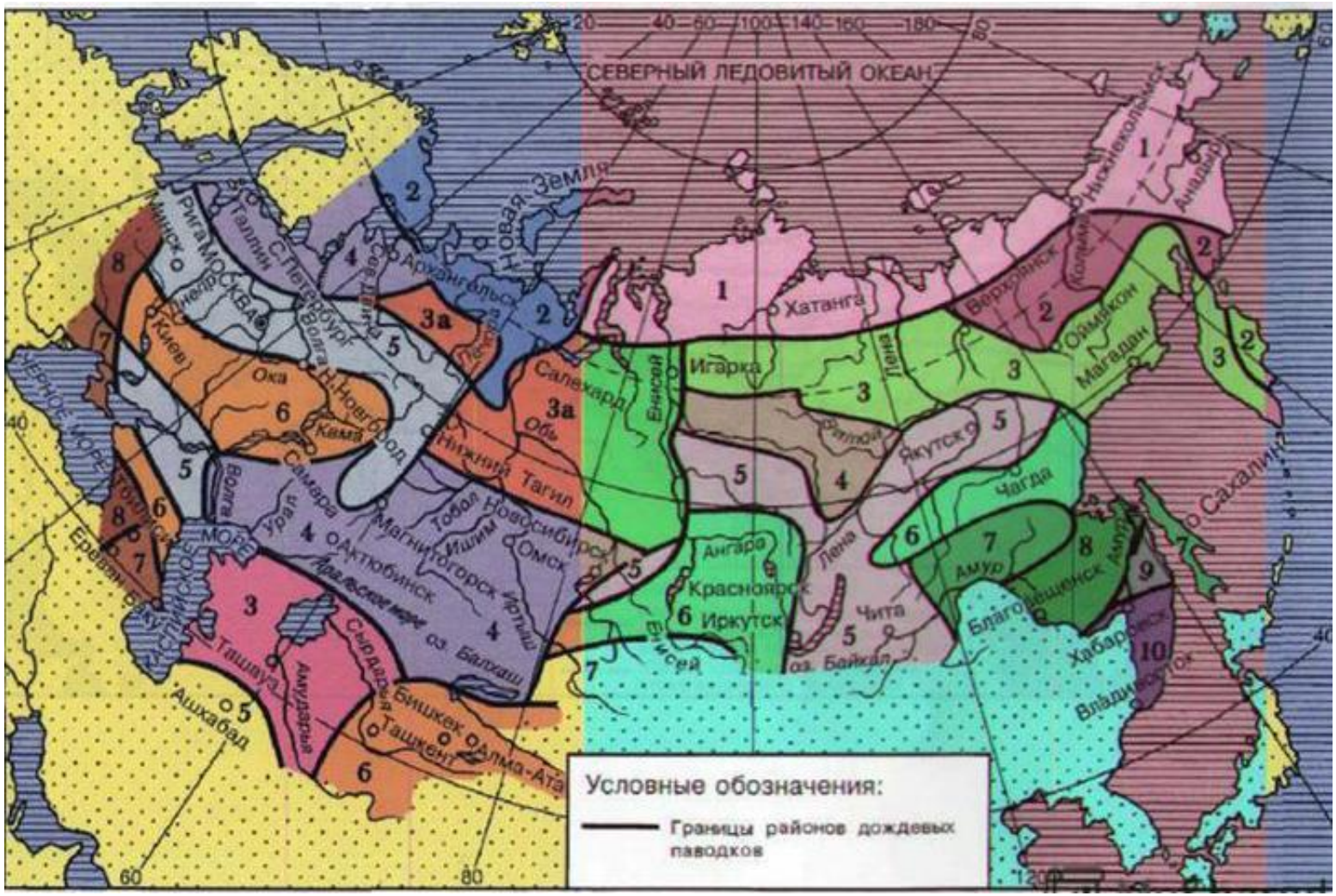


Рисунок П. 1 – Карта-схема ливневых районов

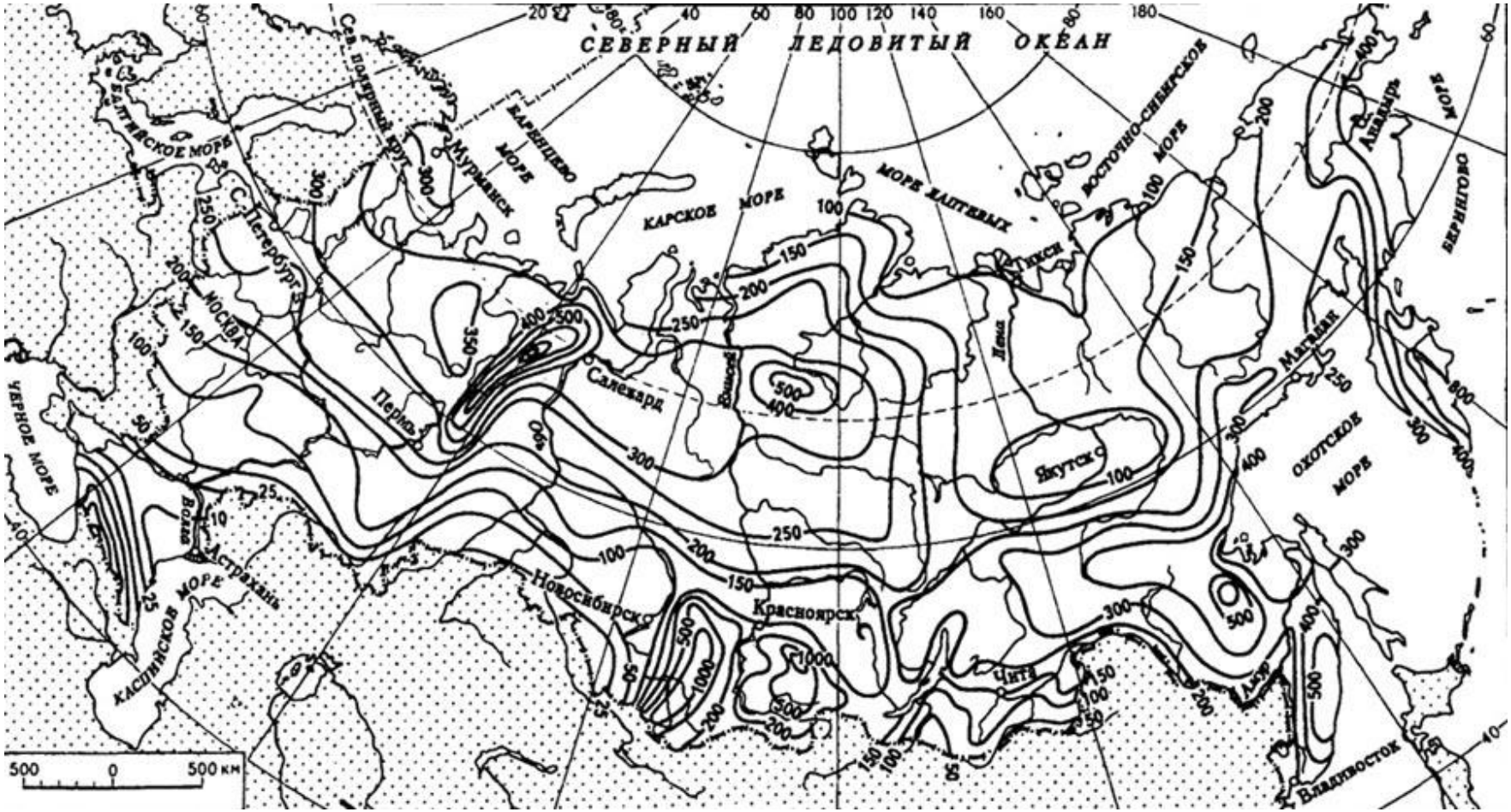


Рисунок П.2 – Карта-схема средних слоёв талых вод

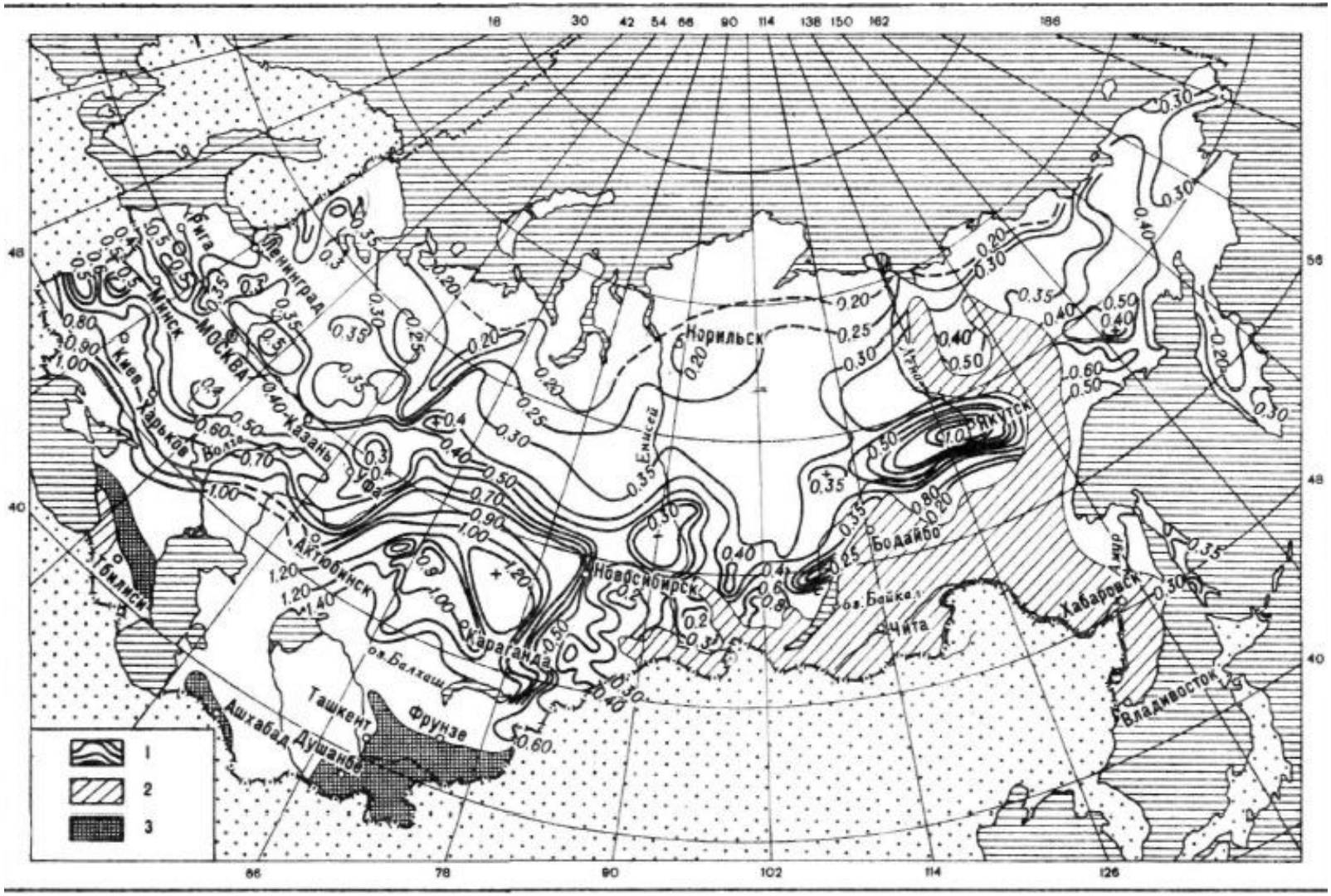


Рисунок П. 3 – Карта-схема коэффициентов вариации слоёв стока талых вод