

И. В. ВИНОКУРОВА

О КРИВЫХ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ СУТОЧНЫХ РАСХОДОВ
РЕК КАРЕЛИИ

Кривые обеспеченности суточных расходов рек имеют большое значение для характеристики внутригодового распределения их стока. Они особенно важны для подсчетов энергоресурсов рек.

В этой работе дается математическое выражение средним кривым обеспеченности суточных расходов рек Карелии и делается попытка связать параметры формулы с физико-географическими факторами стока. Изменение параметров уравнения кривых обеспеченности дает возможность судить о влиянии деятельности человека на сток реки.

Были использованы материалы по стоку одиннадцати рек бассейнов Белого и Балтийского морей. Отбирались реки, имеющие ряд наблюдений, не менее семи лет (табл. 1).

Река Олонка в табл. 1 отсутствует. Два створа этой реки (Торос-озеро и Чимилицы) имеют ряд наблюдений по десять лет. Однако эти сведения нельзя было использовать для данной работы, так как присутствие значительного числа плотин, хотя и небольших по своим размерам, искажает естественный характер распределения стока реки в году. Необходимо указать, что в гидрологических ежегодниках это обстоятельство не отмечено совершенно.

Были построены кривые обеспеченности для всех отобранных рек. При анализе совмещенного графика кривых (рис. 1) оказалось, что все кривые пересекаются в районе 20—25% обеспеченности. Существует мнение, что эта точка пересечения соответствует, с некоторым приближением, значению среднегодового расхода. Возможно, что положение точки пересечения зависит от величины коэффициентов естественной зарегулированности рассматриваемых рек. Более надежный вывод можно будет сделать только после специальных исследований.

Как видно из внешнего вида кривых (рис. 1), искомую зависимость для рассматриваемых рек целесообразно выразить функцией следующего вида:

$$y = A_e^{-\alpha x^n}$$

Данная функция имеет ряд преимуществ перед другими функциями. Она является табулированной, поэтому при определении внутригодового распределения стока с помощью кривых обеспеченности для неизученных рек не требуется производить специальных расчетов. Значения функции можно получить из таблиц в любом математическом справочнике.

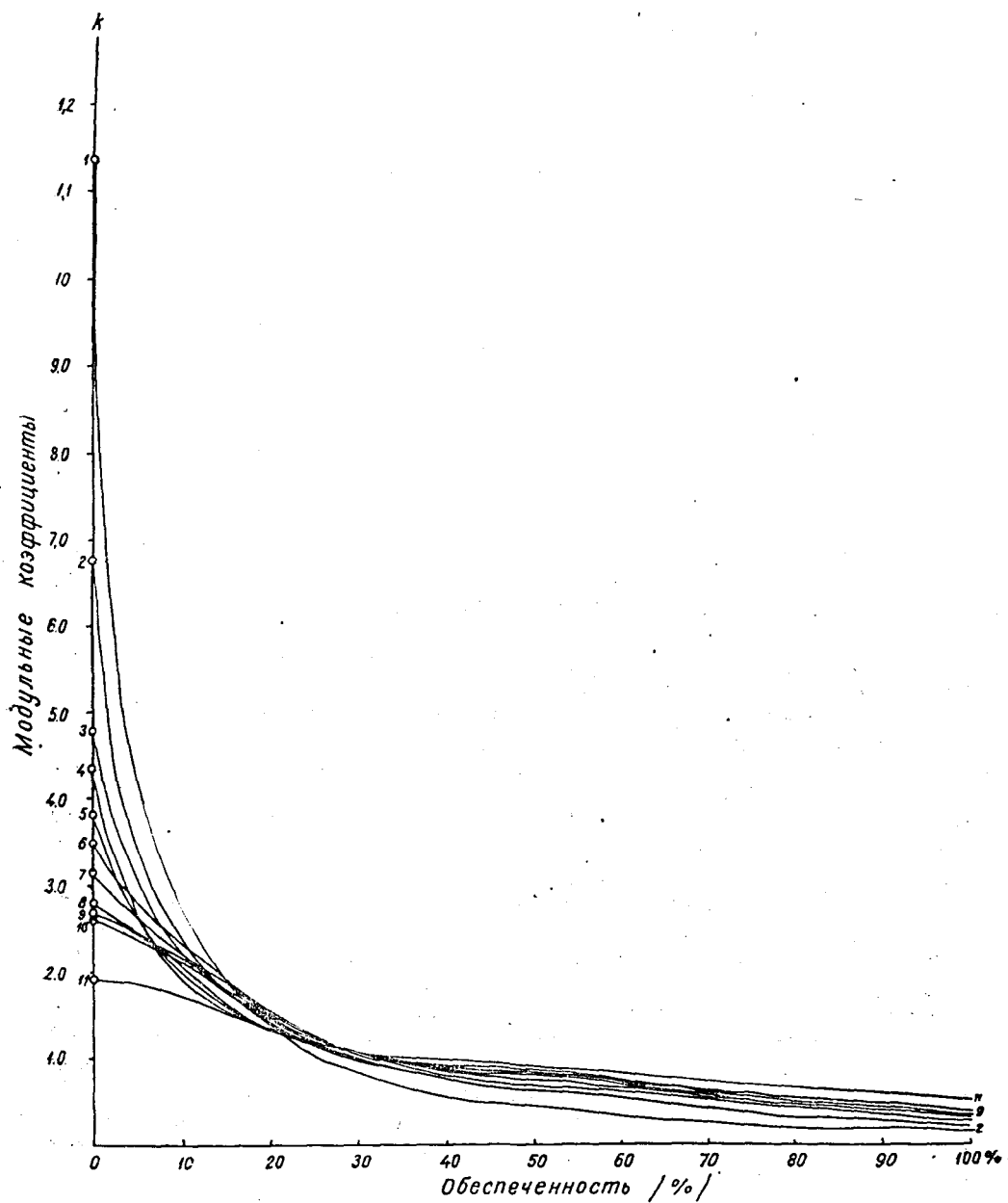


Рис. 1. Совмещенный график кривых обеспеченности рек Карелии.

1 — Шуя (беломорская); 2 — Сят; 3 — Поньгома; 4 — Кереть; 5 — Видлица; 6 — Сума; 7 — Чирка-Кемь; 8 — Кемь (Подужемье); 9 — Суна; 10 — Ковда (Кузьмин-Семежье); 11 — Ср. Лижма; 12 — Ковда (Лехми-Корва); 13 — Онда; 14 — Кемь (Юмозеро).

Таблица 1

Река	Число лет наблюдений	Площадь бассейна	Длина реки (км)	Коеф. озерности	Приведенный коеф. озерн.	Норма стока	Коеф. естественной зарегулированности
Бассейн Балтийского моря							
Суна (Валазма)	7	3343	282	13,1	3,3	33,9	0,76
Ср. Лижма (Кяппе-сельга)	10	515	68	20,8	14	4,9	0,87
Видлица (Аннюла)	19	1160	70	8,8	27	12,2	0,85
Свят (Пряжа)	7	349	33	9,5	12	2,95	0,75
Бассейн Белого моря							
Ковда (Кузьмин-Семежье)	28	26 111	221	14,0	3,1	273	0,82
Кемь (Подужемье)	29	27 920	358	9,3	0,9	257	0,76
Кереть (ж.-д. мост)	13	2640	100	17,5	4,4	23,1	0,82
Чирка-Кемь (Андропова Гора)	8	2670	228	4,6	0,1	28,7	0,79
Шуя (Шуезеро)	13	938	80	7,0	0,7	8,0	0,68
Онда (Ругозеро)	7	504	190	9,7	1,8	5,91	
Сума (Сумский посад)	15	1980	158	13,4	4,7	16,5	0,78
Поньгома (Поньгома)	10	1440	103	11,1	1,0	13,5	0,80

Таблица 2

Река	Параметры формулы			Ошибки (%)	
	a	n	A	средне-квадр.	максимальная
Шуя	4,4	0,48	11,4	10	3
Свят	3,35	0,49	6,82	9	9
Поньгома	2,78	0,55	4,81	4	4
Кереть	2,51	0,60	4,33	27	16
Видлица	2,50	0,63	3,78	10	7
Сума	2,51	0,76	3,45	12	7
Чирка-Кемь	2,16	0,70	3,13	25	15
Кемь	2,12	0,84	2,76	10	6
Суна	2,10	0,94	2,68	14	18
Ковда	1,92	0,80	2,60	18	10
Ср. Лижма	1,33	0,86	1,92	9	8

Рассмотрим параметры формулы:

y — значения модульных коэффициентов, x — значения обеспеченности стока. Коэффициент A определяется при $x=0$, т. е. A является наибольшей ординатой, или, иными словами, выражается средним максимальным модульным коэффициентом данной реки за время наблюдения. Значения A (в модульных коэффициентах) для рассматриваемых рек колеблются в пределах от 11,7 (р. Шуя, Беломорская) до 1,92 (р. Ср. Лижма).

Показатель степени a определяется при $x=1$. Как видно из рис. 2, величина коэффициента a связана обратной зависимостью с величиной наименьшей ординаты, или минимальным модульным коэффициентом.

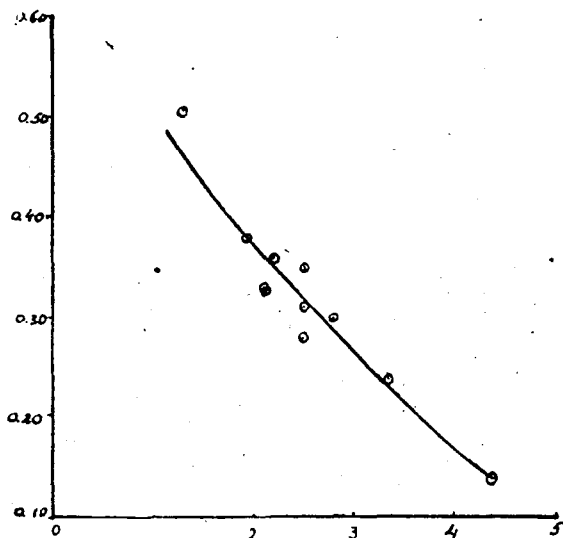


Рис. 2. Зависимость a от y при $x=1$.

Это следует непосредственно из формулы, имеющей при $x=1$ вид $y=Ae^{-a}$ (рис. 2). Значения a для рассматриваемых рек колеблются от 0,14 (р. Шуя, Беломорская) до 0,52 (р. Суна).

Таким образом, эти два параметра (A и a) связаны с концами кривой, т. е. с наибольшей и наименьшей ее ординатами.

Степень кривизны кривой определяется величиной показателя n . Зная A и a , можно легко определить последний неизвестный параметр формулы (n).

Все три параметра формулы связаны между собой. Между параметром n и коэффициентом A , а также между n и показателем степени a существует следующая графическая зависимость (рис. 3а и б).

Были построены кривые обеспеченности по данной формуле для всех отобранных рек Карелии. Среднеквадратичные ошибки достигали 27%. Максимальная ошибка не превышала 18% (табл. 2).

Необходимо определить, как параметр n связан с физико-географическими факторами. Для этого рассматривалась зависимость параметра n от коэффициента озерности. На графике расположение точек оказалось таким, что по ним нельзя было провести одну кривую. Здесь явно намечалось семейство, состоящее из трех отдельных кривых (рис. 4). Подобное же семейство кривых было получено и при анализе связи между параметром n и длиной рек, причем эти кривые отличались от кривых рис. 4. Различие состояло в том, что каждая из кривых образовывалась иной совокупностью рек, чем это имело место в первом случае.

Будем рассматривать отдельно каждую группу рек, располагающуюся по кривым, на графике зависимости параметра n от коэффициента озерности. Можно заметить, что реки, лежащие на левой кривой

(рис. 4), характеризуются различными значениями нормы стока, площади бассейна, коэффициента озерности. Такое различие наблюдается

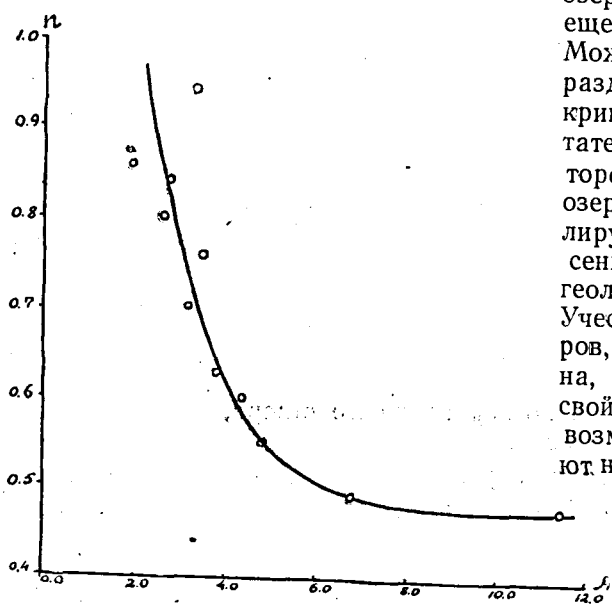
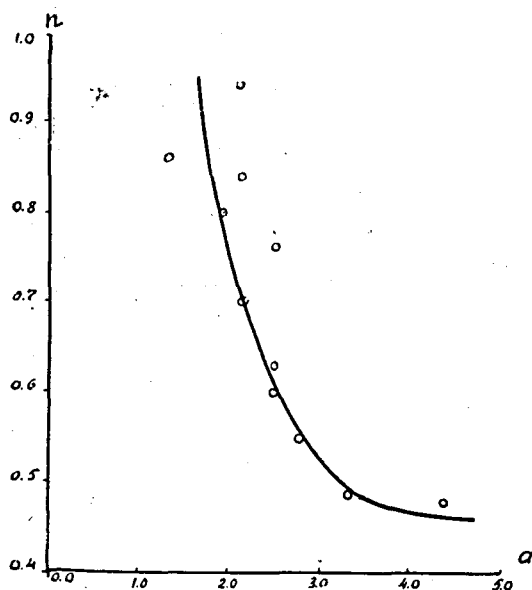


Рис. 3(а и б). Зависимость n от коэффициента A и показателя степени a

как внутри группы, так и между группами рек, характеризующими разные кривые. Таким образом, налицо были только многозначные зависимости n от коэффициента озерности и длины рек. Фактор, определяющий наличие семейства кривых, остался невыясненным.

Коэффициент озерности учитывает только относительную величину суммарной площади озер в бассейне, что является недостаточным для характеристики внутригодового распределения стока, так как один и тот же коэффициент озерности может соответствовать разному расположению озер в бассейне. Этот факт еще раз доказывает рис. 4. Можно полагать, что данное разделение на три отдельные кривые происходит в результате действия нескольких факторов, а именно: расположения озер в бассейне, объема регулирующей призмы озер, залесенности бассейна, его гидро-геологических условий и др. Учесть влияние таких факторов, как залесенность бассейна, его гидро-геологические свойства, не представляется возможным, так как отсутствуют необходимые данные по этим вопросам. Характер же распределения озер в бассейне можно учесть. Для этого был использован приведенный коэффициент озерности. Алексеев (1) для расчетов максимального стока предложил

учитывать расположение озер в бассейне путем введения взвешенного процента озерности, имеющего следующую формулу:

$$P_{вз} = P \frac{F_1}{F_2},$$

где $P_{вз}$ — взвешенный процент озерности бассейна,
 P — обычный коэффициент озерности,
 F_1 — площадь водосбора в истоке из озера,
 F_2 — площадь водосбора для расчетного створа.

Соколов (3) считает, что для подсчетов максимальных модулей стока недостаточно пользоваться взвешенным процентом озерности, так как «при увеличении площади водосбора в 3—4 раза по отношению к водосбору в истоке из озера результирующее влияние водоема, рас-

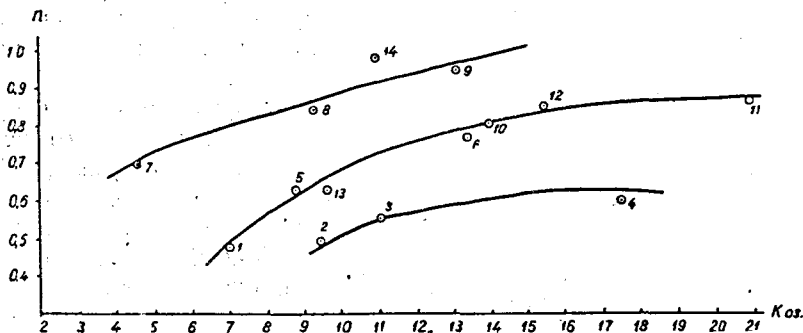


Рис. 4. Зависимость показателя степени n от коэффициента озерности (обозначения те же, что и под рис. 1)

положенного в верховьях реки, настолько ослабляется, что практически может не учитываться». На этом основании Соколов предлагает следующую формулу:

$$P_{вз} = \left(P \frac{F_1}{F_2} \right)^2.$$

В секторе гидрологии Карельского филиала АН СССР Григорьев (2) предлагает приведенный коэффициент озерности подсчитывать по следующей формуле:

$$b_{оз. пр.} = \frac{1}{F} \sum_i^n \left(\frac{f_i \cdot F_i}{F} \right),$$

где F — площадь бассейна до замыкающего створа,
 f_i — площадь зеркала озер,
 F_i — площадь водосбора озера.

Рассмотрим формулу коэффициента озерности;

$$K_{оз} = \frac{1}{F} \sum_i^n f_i.$$

Очевидно, что $b_{оз. пр.}$ будет равен коэффициенту озерности в том случае, когда расчет производится для створа, расположенного у истока из озера. В других случаях $b_{оз. пр.}$ будет всегда меньше $K_{оз}$.

Для всех отобранных рек были подсчитаны приведенные коэффициенты озерности. График связи показателя степени n и приведенного коэффициента озерности представляет собой семейство (рис. 5), со-

стоящее из двух кривых. При сравнении с рис. 4 видно, что произошло сближение точек средней правой кривых. Первые кривые на этих двух графиках остались без изменения. По сближенным точкам с некоторым приближением можно провести одну кривую. При анализе оказалось, что точки, тяготеющие к данной кривой, представляют собой реки с верховым расположением озер (р. Видлица, Шуя) и каскадным, или равномерным, расположением озер (р. Ковда). Обособленную группу составляют реки с резко выраженным неравномерным распределением озер по площади водосбора. Реки Кемь (два створа: Подужемье и

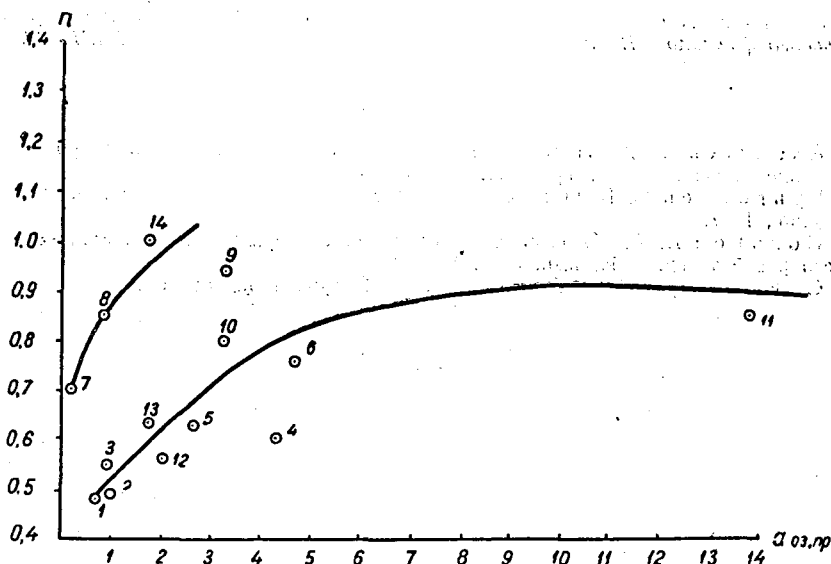


Рис. 5. Зависимость n от приведенного коэффициента озерности (обозначения те же, что и под рис. 1)

Юшкозеро), Чирка-Кемь и Суна группируются вокруг отдельной кривой. Особенно сильно неравномерность расположения озер наблюдается в бассейне реки Чирка-Кемь, где основная масса озер (86%) находится в бассейне реки Каменной, являющейся левым притоком последней. По-видимому, такое «однобокое» расположение озер в бассейне реки Чирка-Кемь влияет и на распределение стока основной реки — Кемь. В бассейне реки Суны неравномерность распределения озер по площади водосбора также существует, но она выражена меньше, чем в предыдущем случае. Очевидно, этим и объясняется отскакивание точки от кривой 1.

Никакой графической связи между n и формулой Соколова $P_{вз} = (P_{F_1}^2 / P_{F_2})$ обнаружено не было.

Таким образом, получены две кривые, точки по которым располагаются в зависимости от характера распределения озер в бассейне. Наблюдаемый разброс точек объясняется действием других факторов, которые остались неизвестными. Отсутствие этих данных не дает возможности уточнить полученную связь.

Пользуясь данными кривыми (рис. 5), можно определить n для прикидочных расчетов кривых обеспеченности неизученных рек Карелии по формуле $y = A e^{-ax^n}$.

Порядок расчета кривых обеспеченности неизученных рек следующий:

1. По приведенному коэффициенту озерности $b_{\text{оз. пр.}}$ определяется параметр n (рис. 5).

2. Пользуясь связями между n , параметрами A и a (рис. 3а и б), находим последние неизвестные.

Отдел гидрологии
Карельского филиала АН СССР

Поступила в редакцию
16/XII 1957

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Г. А. Построение гидрографов паводков на основе расчета трех главных элементов паводка. Тр. ГГИ, вып. 43, 1954.
2. Григорьев С. В. О некоторых определениях и показателях в озероведении. Рукоп., 1957.
3. Соколов А. А. Максимальный сток рек с озерным регулированием и методика его расчета. Тр. ГГИ, вып. 50, 1955.
4. Соколовский Д. А. Речной сток. Гидрометеиздат, 1952.