

## НОРМА СТОКА РЕК ЭСТОНСКОЙ ССР

В. А. ИОНАТ,

кандидат технических наук

Под нормой годового стока понимается средний размер годового стока за многолетний период. Для получения устойчивого значения нормы необходимо иметь около 35—40 лет наблюдений. Ввиду того, что точное определение нормы стока возможно только при неограниченно большом числе  $N$  лет наблюдений, размер нормы, определяемой как среднее арифметическое при ограниченном числе  $n$  лет, отличается от истинного ее значения на величину  $\pm \sigma$  — средней квадратичной ошибки, которая зависит от числа лет наблюдений и коэффициента вариации рядов годового стока.

Исследования Б. Д. Зайкова и С. Ю. Белинкова <sup>(1)</sup> показали, что для решения вопроса о возможных погрешностях при вычислении нормы годового стока в зависимости от длины и изменчивости исходного ряда можно применить закон распределения случайных ошибок, согласно которому кривая распределения ошибок имеет симметричный вид.

Для рек Эстонской ССР коэффициент вариации рядов среднего годового стока колеблется в пределах от 0,25 до 0,40. Размер ошибок, соответствующих приведенным коэффициентам вариации годовых значений стока при различной продолжительности рядов наблюдений, по Б. Д. Зайкову и С. Ю. Белинкову, приводится в таблице 1.

Таблица 1

$C_v$	Число лет наблюдений при точности (в %)							
	4	5	6	7	8	9	10	20
0,25	39	25	17	18	10	8	6	2
0,30	56	36	25	19	14	11	9	2
0,35	76	49	33	25	19	15	12	3
0,40	100	64	44	33	25	20	16	4

Необходимо заметить, что максимальная ошибка в определении размеров нормы может быть в 2—2,5 раза больше средней.

Как видно из таблицы, пользование коротким рядом дает значительные ошибки при определении нормы стока, так как в этом случае в ряд могут попасть данные, относящиеся в основном к многоводному или только к маловодному периоду.



Определение нормы стока имеет большое практическое значение, так как норма стока является устойчивой гидрологической характеристикой данного района. Как указывает Д. Л. Соколовский, норму годового стока можно назвать гидрологическим эталоном или гидрологическим репером данного района, служащим исходной характеристикой для расчетов других характеристик стока. Если при изменении климатических условий, в частности благодаря деятельности человека, изменяется средняя величина осадков и испарения, то изменится и норма годового стока. Но при относительно неизменных условиях норма стока является устойчивой гидроклиматической характеристикой, обусловленной свойственным данному географическому ландшафту соотношением тепла и влаги (4).

При современном положении вычисление нормы стока для рек Эстонской ССР на основании данных непосредственных гидрометрических измерений с достаточной для практики точностью возможно лишь для небольшого числа речных бассейнов, т. е. только там, где имеются ряды наблюдений стока продолжительностью в 25—30 лет.

На подавляющем же большинстве рек Эстонской ССР гидрометрические измерения систематически проводятся лишь в послевоенный период, и поэтому длительность большинства рядов не превышает 6—7 лет. Определение нормы стока для рек, не имеющих рядов длительных гидрометрических измерений, приходится производить косвенными методами (приведение к норме), дающими возможность определить норму стока с достаточной для практики точностью. Приемы, применяемые в данном случае, разработаны советскими гидрологами и применяются в практике гидрологических расчетов. Подробное описание существующих методов приведения к норме дано, например, в работе Д. Л. Соколовского (3).

**История вопроса.** Первые попытки определения размеров нормы стока рек Эстонской ССР относятся к 1930—1932 годам, когда К. Т. Хоммик под руководством А. А. Вельнера составил карту распределения среднего годового стока на территории Эстонии и опубликовал ее в Гидрологическом ежегоднике Гидрометеорологического бюро за 1930—1932 годы (5).

Ввиду отсутствия необходимых гидрометрических данных Хоммик и Вельнер построили карту на основании уравнения водного баланса, приняв за основу многолетние метеорологические наблюдения за осадками и вычисленную по формуле Э. М. Ольдекопа (2) величину испарения. При вычислении нормы стока средняя величина осадков была определена за период с 1886 по 1910 год (по данным Срезневского). Применявшаяся для определения средней многолетней величины испарения формула Э. М. Ольдекопа имеет следующий вид:

$$z = ad \operatorname{th} \frac{x}{ad},$$

где  $a$  — постоянный коэффициент,

$x$  — среднее значение осадков за многолетний период,

$d$  — средний дефицит влажности за тот же период,

$z$  — испарение.

Составленная в 1932 году картограмма нормы стока, отражая влияние основных факторов, определяющих размеры среднегодового стока (осадки и испарение), не учитывала влияния ряда физико-географических факторов, оказывающих существенное влияние на сток в ряде районов Эстонии. Так, например, в северных районах Эстонии имеет широкое распространение карст, который приводит к перераспределению подземного питания ряда речных бассейнов. Исследованиями Т. Ф. Эйпре, произведенным в связи с составлением схемы энергетического использования



гидроресурсов Эстонской ССР, установлено, например, что норма стока реки Кунда должна быть увеличена на 5 л/сек/км<sup>2</sup>, т. е. почти на 70% по сравнению с данными картограммы Хоммика—Вельнера. Верховья реки Пярну также имеют увеличенное питание, которое обусловлено выходом ручьев карстового происхождения на Пандивереской возвышенности. Отдельные реки (р. Куйвайыги) проваливаются в карстовые воронки. Специфические особенности геологического строения четвертичных отложений северной и южной части Эстонской ССР также накладывают отпечаток на режим стока.

Перечисленные выше обстоятельства потребовали внесения поправок в карту Хоммика—Вельнера, которые и были произведены как Вельнером по данным наблюдений за стоком с 1929 по 1938 год, так и Эйпре.

Произведенные исправления несколько уточнили карту Хоммика—Вельнера, не устранив, однако, основных ее недостатков.

В 1950 году, в связи с разработкой генеральной схемы мелиорации Эстонской ССР, была составлена карта нормы стока уже на основании гидрометрических данных. Составитель карты Н. П. Кулеш применил современную методику приводки к норме и получил довольно большое количество пунктов, по которым можно было составить карту среднего годового стока. К сожалению, к моменту составления карты на большинстве водпостов с короткими рядами наблюдений результаты наблюдений имелись лишь за 1—2 года и поэтому получение достаточно надежных данных по ряду пунктов было затруднено, и эти пункты были исключены при составлении карты. Фактически карта была составлена только по 12 пунктам, причем 7 пунктов падали на бассейн Финского залива, 4 — на бассейн Чудского озера и только один пункт — на бассейн Рижского залива.

Недостаточное количество пунктов, даже для условий незначительной по размеру территории Эстонской ССР, приводило к необходимости широкой интерполяции при построении карты, что явилось причиной недостаточной точности и этой карты.

К 1954 году положение в этом отношении значительно улучшилось, так как ряды наблюдений на всех водомерных постах значительно удлинились и появилась возможность получения более надежных данных. Использование данных по ряду новых пунктов позволяет определить норму стока большого количества мелких рек и получить в результате этого дополнительные пункты для более точного построения картограммы нормы стока.

**Изученность стока и оценка исходных данных.** Подсчет стока по отдельным водпостам Управления гидрометеорологической службы ЭССР (по состоянию на 1 I 1953) произведен за период от 3 до 46 лет. Наиболее продолжительные ряды измерений имеются по рекам Нарва (46 лет), Суур Эмайыги (35 лет) и Пярну (29 лет). Данные о числе пунктов и продолжительности периода наблюдений на них приводятся в таблице 2. Эта таблица показывает, что имеющийся в наличии гидрометрический материал в основном непригоден для непосредственного вычисления нормы стока, за исключением 8 пунктов, продолжительность наблюдений на которых превышает 25 лет. Для этих пунктов можно производить непосредственное вычисление нормы по средним годовым расходам, учитывая при этом, что средняя квадратичная ошибка при среднем коэффициенте вариации для Эстонской ССР ( $C_v = 0,35$ ) составит 7—8%. Указанная точность достаточна для гидрологических расчетов, и полученные данные можно считать приемлемыми для практического использования.



Продолжительность периода наблюдений	Число пунктов	Примечание
от 2 до 5 лет	27	В расчетах использованы годы с полным периодом наблюдений, неполные годы в расчет не включены
" 6 " 10 "	9	
" 11 " 15 "	1	
" 16 " 20 "	3	
" 21 " 25 "	2	
" 26 " 30 "	5	
" 31 " 35 "	1	
" 36 " 40 "	1	
40 лет и больше	1	

**Приведение к норме.** Выбор методики приведения к длинному ряду определялся в основном наличием и длиной рядов гидрометрических наблюдений. Для рек, по которым имелись достаточно длительные наблюдения, норма стока определялась непосредственным вычислением среднего многолетнего расхода. Для рек с короткими рядами наблюдений приводка производилась по связи среднегодовых или среднемесячных значений стока. Ввиду того, что распределение осадков по территории Эстонской ССР носит довольно пестрый характер и что, кроме того, сам метод приводки по осадкам дает менее точные результаты, было решено отказаться от указанного метода. Для западных островов (Сааремаа, Хийумаа) норма стока принята согласно данных приводки для пункта Метскюла на реке Пунапеа. В качестве основных опорных пунктов для приведения к норме использованы станции с продолжительностью рядов годовых наблюдений свыше 25 лет (таблица 3)\*.

Таблица 3

Река	Створ	Площадь водосбора км <sup>2</sup>	Число полных лет наблюдений
Пуртсе Кейла	Бассейн Финского залива		
	Люганусе	792	27
	Кейла	665	26
Пярну	Бассейн Рижского залива		
	Орекюла	5180	29
	Бассейн Чудского озера		
Выханду	Химмисте	853	26
Вяйке Эмайыги	Тыллесте	1070	28
Суур Эмайыги	Тарту	7850	34

Наряду с основными опорными пунктами в качестве вспомогательных опорных пунктов для приведения коротких рядов были использованы пункты с продолжительностью наблюдений от 14 до 23 лет, после того как была уточнена их норма стока. Список вспомогательных опорных пунктов приводится в таблице 4.

\* Принимая во внимание незначительную разницу в длительности рядов аналогов, они не приводились к одному сроку наблюдений.



Таблица 4

Река	Створ	Площадь водосбора км <sup>2</sup>	Число полных лет наблюдений
Пирита	Лагеди	675	16
Лейва	Паюба	84,3	23
Ягала	Линнаяэ	1582	14
Васалемма	Урба	383	22
Вихтерпалу	Энглема	468	18

Определение нормы стока при наличии сравнительно большого числа лет наблюдений (свыше 10 лет) производилось по связи среднегодовых

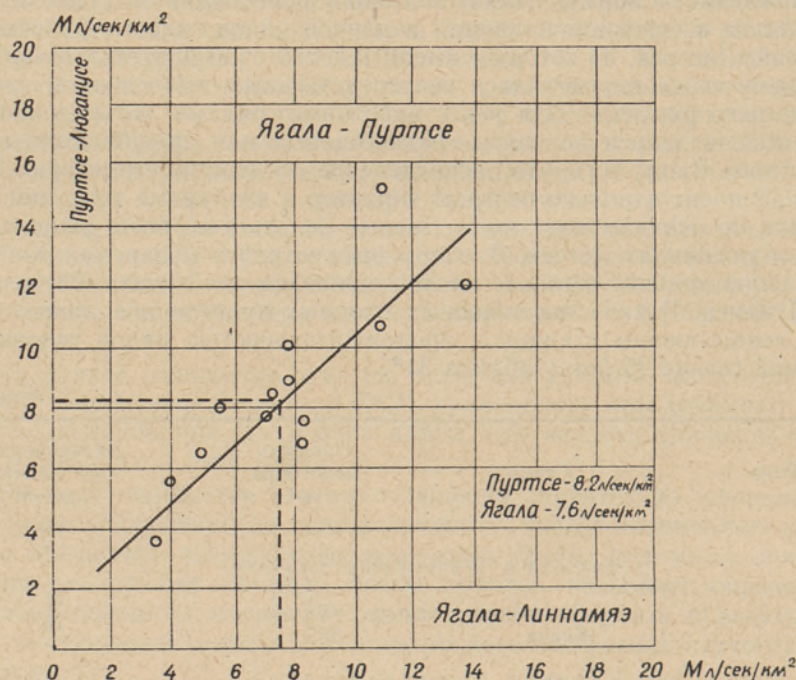


Рис. 1.

модулей стока (рис. 1, 2). Короткие ряды (до 10 лет) приводились по среднемесячным значениям модулей стока (рис. 3, 4). Приводка производилась во всех случаях графически, так как указанная методика дает более точные результаты, чем применяемый в некоторых случаях метод Вильда, предполагающий обязательное прохождение прямой через начало координат. (Метод Вильда предполагает равенство коэффициентов вариации годового стока в обоих пунктах, что для рек Эстонской ССР не всегда имеет место. Так, например, для реки Кейла  $C_v = 0,39$ , а для реки Выханду  $C_v = 0,27$ .)

Применение других аналитических методов, таких как нахождение корреляционных уравнений связи стока по отдельным станциям, требующее значительной вычислительной работы, как указывает Д. Л. Соколовский <sup>(1)</sup>, не оправдывается увеличением точности результатов уже хотя



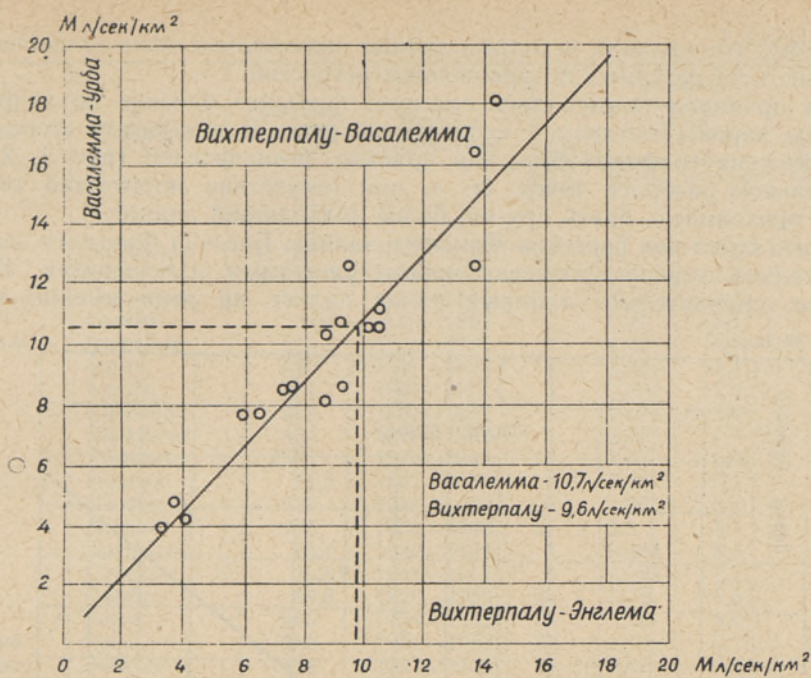


Рис. 2.

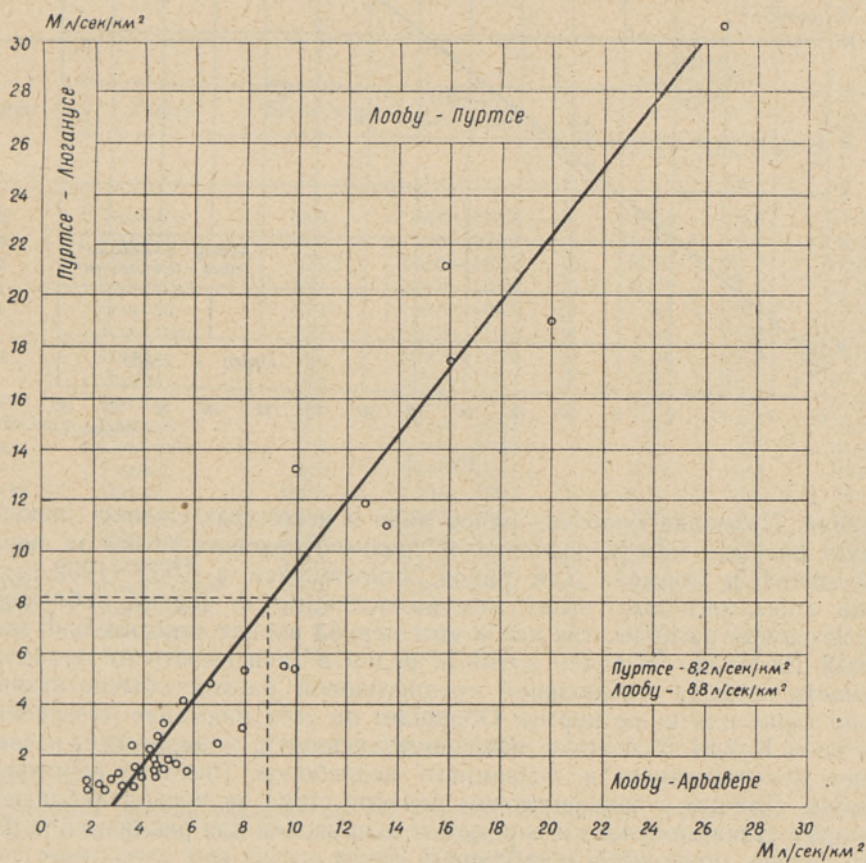


Рис. 3.



бы потому, что точность исходных данных значительно ниже точности вычислений, производимых по уравнениям регрессии.

Для приводки применялись аналоги, наиболее близкие по гидрологическим характеристикам к исследуемой реке. В результате этого разброс точек на графиках был, как правило, незначителен (рис. 1, 2, 3). При сильном разбросе точек (т. е. при отсутствии достаточно тесной связи) приходилось брать другой, более подходящий аналог.

**Норма стока рек бассейна Финского залива.** Бассейн Финского залива относительно хорошо освещен гидрометрическими измерениями. Большинство сравнительно длинных рядов падает на реки именно этого

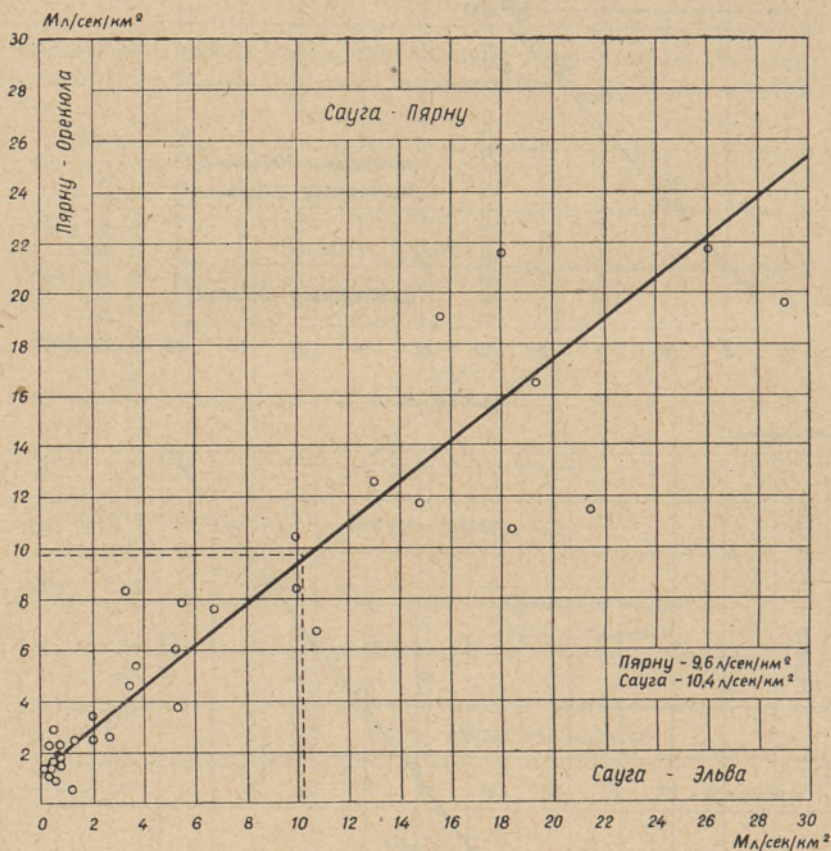


Рис. 4.

бассейна. Приводка коротких рядов дала в некоторых случаях довольно резкую разницу между значениями среднего годового стока за период наблюдений и нормой. Для рядов, относящихся к 1950—1952 годам, норма стока несколько выше, чем вычисленные за период наблюдений среднегодовые расходы, так как в этот период входит относительно маловодный 1951 год. У более длинных рядов в зависимости от продолжительности периода наблюдений среднегодовой расход обычно незначительно выше или ниже нормы. Обращает на себя внимание повышенный сток реки Кунда. Указанное явление объясняется, повидимому, несовпадением поверхностного и подземного водосборов (питание карстовыми водами). Данные о среднегодовом размере стока за период наблюдений и о норме стока, полученной в результате приводки для рек бассейна Финского залива, приводятся в таблице 5.



Таблица 5

Река	Створ	Площадь водосбора км <sup>2</sup>	Период наблюдений	Число полных лет наблюдений	Средний за период наблюдений		Норма стока л/сек · км <sup>2</sup>
					расход м <sup>3</sup> /сек	модуль л/сек · км <sup>2</sup>	
Нарва	Васкнарва	47 800	1903—1952	38	346	7,2	7,2
Нарва	Кулгу	55 900	1903—1952	46	400	7,2	7,2
Пуртсе	Люганусе	792	1923—1952	27	6,50	8,2	8,2
Кирияку	Нымме	30,8	1948—1952	5	0,27	8,7	9,5
Пюхайыги	Пюхайые	166	1946—1952	7	1,52	9,1	8,9
Кунда	Сями	390	1947—1952	6	4,20	10,8	11,4
Сельге	Арка	364	1948—1952	3	2,69	7,4	8,3
Лообу	Арбавере	202	1950—1952	3	1,77	8,8	8,8
Валге	Ванакула	402	1949—1952	3	3,10	7,7	9,7
Ягала	Линнамяэ	1582	1924—1940	14	12,72	8,0	7,6
Аавоя	Маапая	31,5	1942—1952	9	0,29	9,1	8,3
Пирита	Паункюла	119	1941—1952	10	0,99	8,4	8,4
Пирита	Лагеди	675	1928—1943	16	5,9	8,7	9,8
Лейва	Арувалла	10,4	1949—1952	3	0,084	8,1	8,4
Лейва	Суурсоо	20,6	1949—1952	3	0,187	9,1	8,7
Лейва	Паюба	84,3	1928—1952	23	0,72	8,5	8,8
Кейла	Кейла	665	1924—1952	26	6,25	9,4	9,4
Васалемма	Урба	383	1931—1952	22	3,71	9,7	10,7
Вихтерпалу	Энглема	468	1931—1952	19	3,97	8,5	9,6

Таблица 6

Река	Створ	Площадь водосбора км <sup>2</sup>	Период наблюдений	Число полных лет наблюдений	Средний за период наблюдений		Норма стока л/сек · км <sup>2</sup>
					расход м <sup>3</sup> /сек	модуль л/сек · км <sup>2</sup>	
Касари	Тээнусе	649	1949—1952	5	6,85	10,6	10,1
Касари	Касари	2660	1948—1952	5	24,86	9,3	9,8
Вигала	Рапла	53,2	1950—1952	3	0,63	11,3	10,8
Вигала	Конове́ре	558	1949—1952	4	6,42	11,5	11,0
Велисе	Вянгла	882*	1949—1952	4	7,10	8,0	8,6
Энге	Ядивере	132	1949—1952	4	1,34	10,2	10,0
Вяндра	Кийса	243	1947—1952	6	2,14	8,9	10,0
Сауга	Эльби	93	1950—1952	3	0,95	10,2	10,4
Навести	Аэсоо	957	1949—1952	4	9,48	9,9	10,0
Леммийыги	Сандра	211	1948—1952	5	1,94	9,2	9,6
Раудна	Солгути	719	1949—1952	4	5,84	8,1	10,2
Кыпу	Римму	265	1946—1952	7	2,11	8,0	10,0
Халлисте	Рийса	1920	1948—1952	5	16,3	8,5	9,4
Рейю	Сурью	349	1948—1952	5	2,82	8,1	8,6
Пярну	Тахкусе	2120	1949—1952	4	19,66	9,3	9,8
Пярну	Орекюла	5180	1922—1952	29	49,75	9,6	9,6
Паадремаа	Мытсусилла	216	1948—1952	5	2,34	10,8	10,8
Мустйыги	Коннувере	1220	1945—1952	8	8,29	6,8	8,3
Валуоя	Вильянди	3,9	1949—1952	3	0,041	10,5	10,1
Пээглеоя	Куустле	44,9	1946—1952	7	0,36	8,2	8,4
Острова							
Пунапеа	Метскюла	101	1946—1952	7	0,72	7,1	9,6

\* Имеются данные, указывающие на наличие ошибки при определении площади водосбора реки Велисе. По этим данным площадь водосбора должна быть 682 км<sup>2</sup>. Поэтому норму стока надо считать равной около 10 л/сек · км<sup>2</sup>.



**Норма стока рек бассейна Рижского залива.** Наиболее слабо освещенным в гидрометрическом отношении оставался до последнего времени бассейн Рижского залива. Длительные наблюдения имеются здесь только по одной реке Пярну. На остальных реках бассейна продолжительность наблюдений не превышает 7 лет (по состоянию на 1 I 1953). Отсутствие достаточного количества рек, могущих служить аналогами для приводки, заставило использовать, кроме реки Пярну, реки бассейна Финского залива — Вихтерпалу, Васалемма и реки бассейна Чудского озера — Вяйке Эмайыги и Суур Эмайыги в тех случаях, когда наблюдалась достаточно тесная связь в ходе годового стока между аналогом и рассматриваемой рекой.

Результаты приводки даны в таблице 6.

**Норма стока рек бассейна Чудского озера.** Результаты приводки для рек бассейна Чудского озера даны в таблице 7.

Таблица 7

Река	Створ	Площадь водосбора км <sup>2</sup>	Период наблюдений	Число полных лет наблюдений	Средний за период наблюдений		Норма стока л/сек · км <sup>2</sup>
					расход м <sup>3</sup> /сек	модуль л/сек · км <sup>2</sup>	
Вяйке Эмайыги	Тыллесте	1070	1922—1952	28	8,77	8,2	8,2
Суур Эмайыги	Тарту	7850	1903—1952	35	58,67	7,5	7,5
Педья	Тырве	792	1929—1952	20	5,86	7,4	7,8
Паала	Пылтсама	1000	1950—1952	3	9,72	9,7	8,4
Ыхне	Тырва	270	1950—1952	3	2,03	7,5	9,0
Ахья	Коорвере	286	1948—1952	5	2,13	7,4	8,6
Выханду	Химмисте	853	1924—1952	26	6,76	7,9	7,9
Пийгасте оя	Пийгасте	14,3	1949—1952	4	0,09	6,3	7,6
Эльва	Эльва	246	1948—1952	5	1,98	8,0	8,3

Полученные в результате приводки значения нормы стока для отдельных бассейнов дают возможность более точно производить гидрологические расчеты в различных областях водного хозяйства Эстонской ССР и в дальнейшем послужат дополнительным материалом для составления более детальной карты нормы стока.

Институт мелиорации и освоения осушенных земель  
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
17 XII 1954

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Д. Зайков и С. Ю. Белинков, Норма годового стока, ее погрешность и приведение коротких рядов к длительному периоду, «Исследование рек СССР», вып. X, 1936.
2. Э. М. Ольдекopf, Об испарении с поверхности речных бассейнов, Юрьев, 1911.
3. Д. Л. Соколовский, Гидрологические и водохозяйственные расчеты при проектировании малых ГЭС, Гидрометеониздат, Л., 1946.
4. Д. Л. Соколовский, Речной сток, Гидрометеониздат, Л., 1952.
5. Sisevete Uurimise Aastaraamat 1930—1932, Tallinn 1934.