

**IV Гидрологическая Конференция Балтийских стран**  
Ленинград, сентябрь 1933.

---

III.—Секция Рек.

**ОБ ИЗМЕНЯЕМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ РУСЛА**

**Е. ТИЛЬЦЕН (Эстония)**

---

**38**

**ЛЕНИНГРАД**

Издание Государственного Гидрологического Института и Объединения Научно-Технических  
Издательств Народного Комиссариата Тяжелой Промышленности СССР.

1933

23182

ALICE WINGFIELD 1920-1980

WINGFIELD



An 933

Talibeh E

Wingfield, Alice

AR	Fr. R. Kretzschmar
	nim. ENS / kritik
	Raumfahrt

49.473

## Об изменяемости сопротивления русла.

Инженер В. Тильцен (Эстония)

Производственная деятельность инженеров и решение конкретных задач из области гидротехники всегда являлись сильными стимулами для тщательного научного изучения возникавших при этом гидрологических проблем. Для этой цели наука в течение последних десятилетий создала себе могучее средство в виде гидротехнических лабораторий, что дало возможность изучать поставленные вопросы всесторонне и давать ценные указания о наиболее рациональном устройстве самых разнообразных речных гидротехнических сооружений.

Практик-гидротехник нашел со своей стороны в гидротехнических лабораториях вспомогательное средство, которое позволяет ему изучать свою задачу более сознательно и детально, и которым он поэтому пользуется всякий раз, когда этого требуют размеры или особенности его проектов. Однако, результаты гидротехнических лабораторных исследований никогда не смогут заменить того опыта, который получается в результате непосредственных наблюдений и измерений в естественных условиях, т. к. на малой модели трудно осуществить и соблюсти все решающие факторы разом, зачастую невозможно решить, какие из факторов или какие размеры их действительно являются решающими.

Вследствие этого, данные, полученные путем непосредственных наблюдений и измерений в природных условиях, всегда придется предпочесть результатам лабораторных исследований. Гидротехник-практик, ведущий строительные работы, до сих пор добывал эти данные собственными измерениями на реках и должен будет так же добывать их и впредь, сообразуясь с теми основными принципами, которые по новейшим научным возре-

ниям допускают их наиболее успешную обработку. Так, например, в области поисков подходящей формулы распределения скоростей по вертикали можно указать на капитальное исследование В. Зольдана, который на основании своих работ на Везере устанавливает, что общая формула распределения скоростей, пригодная для всех рек, является вообще невозможной и этим отвергает существовавший до сего времени взгляд, по которому старые формулы Гангилье и Куттера, Базэна, Штриклера и других имеют всеобщее значение. В. Зольдан устанавливает, что каждая река или часть реки требуют индивидуального подхода и имеет собственную формулу распределения скоростей и, как я уже указывал во второй части своего доклада 2-й Балтийской Гидрологической Конференции („Гидравлическое обоснование понижения горизонта оз. Пейпус“ на 0,3 м, гор. Таллин, июнь 1929 г.), с этим мнением приходится согласиться. Это утверждение В. Зольдана по поводу формулы распределения скоростей есть результат обработки многочисленных измерений на определенной реке (Везере) и является примером, иллюстрирующим преимущество наблюдений в природных условиях над лабораторными работами, которые для разрешения этого вопроса оказались недостаточными.

Тщательное исследование определенных рек, в связи со строительными работами на них, также часто приводит к более общему решению возникающих гидравлических вопросов. Примером этого можно назвать работы на реке Нарове, являющейся единственным потоком озера Пейпус (средний расход  $375 \text{ м}^3/\text{сек}$ ), в результате которых уровень этого озера, занимающего площадь в  $3600 \text{ км}^2$ , должен понизиться на 0,3 м. Эти работы дали повод к тщательному гидрологическому исследованию р. Наровы, которое охватило следующие области гидрологии:

- 1) Формулы распределения скоростей и сопротивление русла.
- 2) Зимний сток.
- 3) Ледовые зажоры.
- 4) Движение насосов.

По вопросу о сопротивлениях русла р. Наровы последние измерения дали некоторые результаты, о которых сообщается ниже.

Уровни озера Пейпус подвержены периодическим колебаниям, наибольшая амплитуда которых равна 2,5 м. В виду этого, является невозможным измерить непосредственно величину фак-

тического понижения уровня, достигнутого работами, и для определения ее пришлось бы сравнивать фактическую высоту уровня озера в день измерений по окончании работ с высотой уровня до начала работ. Следовательно, необходимо было установить метод для определения не сниженных уровней озера в день измерения, который дал бы возможность внести поправку в уровни озера, наблюдавшиеся до работ. Для этой цели можно было воспользоваться уровнями р. Наровы по показаниям лимниграфа в Скарьетине, расположенном ниже места производства работ по понижению уровня; эти работы не должны были бы оказывать влияния на показания лимниграфа Скарьетине, т. к. они производились в направлении вверх по течению.

При сравнении средних месячных уровней озера Пейпус с уровнями по лимниграфу сначала не удавалось обнаружить достаточно закономерную связь между ними, которая дала бы возможность вывести уровни озера из уровней лимниграфа. Однако, внимательное изучение сильно рассеянных точек графика показало, что если сравнить точки только одного месяца за все годы, то закономерности имеется (рис. 1). Точки отдельных месяцев, за небольшими исключениями, группируются около прямой линии, причем линия мая месяца на рис. 2 является крайней линией слева, а линия августа и сентября месяцев являются крайними справа. Отсюда следует, что при одинаковом уровне уклон в мае является наименьшим, а в августе и сентябре — наибольшим. Общее падение реки на расстоянии 12 км между двумя лимниграфами составляет в среднем 1,53 м, и колеблется в пределах от 1,34 до 1,63 м. На рис. 2 горизонтальное расстояние между левой и правой ограничивающими линиями составляет 10—13 см (в среднем — 11,5 см), откуда следует, что при одинаковых уровнях в Скарьетине в мае месяце падение становится на 11,5 м, или  $\frac{11,5 \cdot 100}{153} = 7,5\%$  меньше, чем осенью (в августе и сентябре).

В этом возрастании уклона к осени, которое может быть вызвано зарастанием русла травой, сказывается увеличение сопротивления, обусловливаемого шероховатостью русла. Несмотря на то, что сток не меняется, увеличение уклона влечет за собой повышение уровней реки. Такое зарастание русла р. Наровы травой постоянно наблюдается к осени и выражается, между прочим, в том, что в сентябре и октябре трава отделяется от дна

и уносится течением. При этом часть ее, задерживаясь на шестах и плавучих рейках, которыми обозначен фарватер, потопляет последние.

Двенадцатикилометровый участок реки между лимниграфами Васкнарва и Скарьетина делится на две части, характеризующиеся сильно отличающимися уклонами: на верхнем, десятикилометровом участке уклон составляет в среднем  $8,7 \text{ см/км}$ , а на нижнем, двухкилометровом участке (с быстрым течением— $33 \text{ см/км}$ ). В середине всего участка, т. е. в  $6 \text{ км}$  от Васкнарвы, имеется еще один лимниграф в Переволоке, наблюдения по которому ведутся в течение 6 лет. Хотя продолжительность существования этого лимниграфа короче, однако, можно участок Васкнарва-Переволок (длина— $6 \text{ км}$ , средний уклон— $6,5 \text{ см/км}$ ) рассматривать отдельно. Поэтому этот участок был рассмотрен точно так же, как и весь участок Васкнарва-Скарьетина ( $12 \text{ км}$ ), и здесь, как и для всего участка, было установлено то же явление, а именно: падение в мае является наименьшим (в среднем— $0,35 \text{ м}$ ), а в сентябре—наибольшим (в среднем— $0,422 \text{ м}$ ). Разница между ними равна  $42,2 - 35 = 7,2 \text{ см}$ , т. е. уклон составляет  $1,2 \text{ см/км}$  и колеблется от  $2,1 \text{ см/км}$  при высоких водах до  $0,8 \text{ см/км}$  при низких.

Основываясь на увеличение уклона к осени, которое влечет за собой также известное повышение уровней, можно вычислить ошибку в определении расхода, которая возникает, если пренебречь увеличением сопротивления и уклона. При расчете принимается, что на участке с быстрым течением ниже Скарьетина русло не зарастает травой, вследствие чего уровни, показываемые местным лимниграфом, этим не искажаются. Для верхнего участка реки Наровы формула скорости, опубликованная в другом сообщении, такова

$$V = 2,7 \cdot R^{1,44} \cdot J^{0,326};$$

если заменить гидравлический радиус средней глубиной  $t$  и обозначить ширину реки через  $B$ , то расход будет:

$$Q = Bt \cdot 2,7 t^{1,44} \cdot J^{0,326}$$

При постоянном среднем горизонте у лимниграфа в Скарьетине в мае месяце для верхнего участка, где  $B = 228 \text{ м}$ ,  $i = 3,2 \text{ м}$ ,  $l = 0,000063$ , площадь живого сечения  $F = 228 \cdot 3,2 = 720 \text{ м}^2$ ,

а расход—550 м<sup>3</sup>/сек. Осенью же, при заросшем травой русле, при повышенном на 9,00 см уровне ( $t = 3,29$  м). и том же расходе, уклон на этом участке увеличивается до  $6,3 + 1,2 = 7,5$  см/км. Поэтому расход  $Q$ , вычисленный по формуле

$$Q = Bt \cdot 2,7 R^{1,44} \cdot \dots^{0,326},$$

увеличивается до 507 м<sup>3</sup>/сек, и ошибка равна  $\frac{507 - 450}{450} = 12,9\%$ .

На реке Нарове заростание русла происходит в небольшой степени и ограничивается более мелкими местами, с глубинами до 1,5 м. Вообще степень заростания зависит: 1) от климата, 2) от движения наносов и 3) от глубины и скорости течения. Особенно сильно заростание русла происходит на небольших и средних реках, где оно может принять совершенно неожиданные размеры. Это делает определение стока за более длительные периоды весьма ненадежным и при проектировании гидросиловых установок это следует тщательно учесть.

Влияние заростания может быть учтено в формулах для определения скоростей посредством введения в них особого коэффициента. Как у нас было показано, коэффициент этот является величиной переменной, он зависит от времени года (от месяца) и от условий стока. Для р. Наровы он легко определяется путем сравнения высот уровней, т.к. в данном случае имеется незарастающий участок реки с быстрым течением. Обычно, однако, это определение не будет столь легким и потребуются планомерное определение расходов по временам года с различной степенью заростания. Таким путем проектирующий инженер сможет составить себе представление о порядке величины этого явления. До сего времени оно принималось в расчет только в единичных случаях, например, в проекте регулировки Боденского озера. Однако, размеры его в отдельных случаях могут возрасти в такой степени, что пренебрегать им, особенно при определении расходов за более короткие промежутки времени (день, месяц), недопустимо.

В формуле для определения скорости  $v = d \cdot R^x \cdot J^l$ , это изменение сопротивления может быть учтено введением особого коэффициента  $b$ , после чего формула примет вид:  $v = d \cdot b \cdot R^x \cdot J^l$  Для верхнего течения р. Наровы, где  $d = 2,7$  и соответствует средней степени заростания, которая наблюдается обычно в июне—

июле месяце,  $b = 1,0$ . Для мая месяца  $b$  больше, для сентября — меньше 1,0.

В таблице I приведены предельные значения коэффициента зарастания  $b$  для р. Наровы.

Таблица I.

Вычисления коэффициента зарастания  $b$  для р. Наровы

	Средний горизонт высоких вод		Средний горизонт		Горизонт низких вод	
	Чистое русло	Заросшее русло	Чистое русло	Заросшее русло	Чистое русло	Заросшее русло
1. Средняя ширина реки	228	228	228	228	228	228
2. Средняя глубина . . .	3,65	3,75	3,20	3,29	2,70	2,77
3. Площадь живого сечения в $m^2$ . . . . .	832	855	730	750	615	632
4. Средняя скорость течения . . . . .	0,740	0,847	0,617	0,677	0,448	0,498
5. Расход в $m^3/сек$ . . . . .	616	723	450	507	276	315
6. Уровень воды по лимниграфам в метр в						
Васкварве . . . . .	30,94	31,10	30,50	30,62	29,94	30,04
7. В Переволоке . . . . .	30,57	30,60	30,12	30,17	29,64	30,67
8. В Скарьетине . . . . .	29,42	29,42	29,02	29,02	28,53	28,53
9. Уклон $см/км$ . . . . .	6,2	8,3	6,3	7,5	5,0	6,2
10. Отношение $\frac{Q^1}{Q^2}$	0,852	—	0,887	0,887	0,877	0,887
11. Коэффициент зарастания $b$ . . . . .	1,08	0,92	1,061	0,929	1,066	0,934

Приведенные в таблице величины вычислены по формуле  $V = 2,7 R^{1,44} \cdot I^{0,326}$  для глубокой средней части живого сечения, ширина которого была принята постоянной и равной 228 м. Вследствие этого, для заросшего русла получены большие скорости и расходы, тогда как в действительности условия стока при неизменяющемся уровне по лимниграфу в Скарьетине, на порожилом участке, при заросшем русле — такие же, как и при чистом русле. Так, фактический расчет при среднем горизонте высоких вод в мае (чистое русло)  $Q_m = 616 \cdot 1,08 = 665 m^3/сек$ , а в сентябре (заросшее русло)  $Q_s = 616 \cdot 0,92 = 567 m^3/сек$



при неизменяющемся горизонте  $+ 29,42$  м по лимниграфу в Скарьетине. Действительные изменения уклонов для каждого месяца изображаются линиями, по которым можно исчислить значение коэффициента  $b$  для различных горизонтов и для всех месяцев. Они зависят от двух независимых переменных: от высоты уровня и от времени года,—поэтому их можно представить в виде таблицы или графически, в форме диаграммы.

Описанные изменения сопротивлений происходят в течение промежутка времени, равного 6-ти месяцам (I/V—I/XI). Для всего этого периода нельзя пользоваться кривой расхода и формулой для определения скоростей, но вводя в них соответствующие поправки. В ноябре месяце для р. Наровы уже начинается зимний период, т. к. обычно во второй половине ноября река замерзает и этот период продолжается до конца марта. Определение зимнего стока реки по сведениям об уровнях сопряжено с большими трудностями и для большинства рек при этом обнаруживаются особые обстоятельства, которые необходимо учитывать. Применение для зимнего стока летних кривых расхода приводит в большинстве случаев к совершенно неправдоподобным результатам, ввиду чего в подобных случаях необходимо вводить значительные поправки. Поэтому, неограниченное применение этих кривых является, пожалуй, допустимым лишь для весьма небольшой части года.

Из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы и предложения:

1. Изменяемость сопротивления, обусловливаемая заростанием русла, представляет собою гораздо более распространенное явление, чем обычно принимается и имеет место даже тогда, когда явные признаки его отсутствуют.

2. При построении кривых расхода необходимо учитывать влияние зарастания и сообразно этому выбирать время для определения расходов.

3. При ответственных работах большого масштаба следует тщательно определять размеры влияния зарастания.

4. При определении расходов за известные периоды необходимо учитывать влияние зарастания путем введения соответствующего коэффициента, величины которого могут быть изображены в виде графика или таблицы.

Отв. редактор В. Е. Ляхницкий.

Тех. редактор Карпатов.

Ленгорлит № 25013. Время сдачи в наб. 13/V-33 г. Колич. листов  $\frac{1}{2}$ . Подписано к печати 25/IX-33 г. Станд. формат бум. 68 × 100. Колич. бумажн. лист.  $\frac{1}{4}$ . Общее кол. знак. на бум. л. 90.000. Заказ № 1687. Тираж 800. Изд. № К-170.

---

1-я тип. изд-ва Ленинградского Облисполкома и Совета, 2-я Советская, 7.

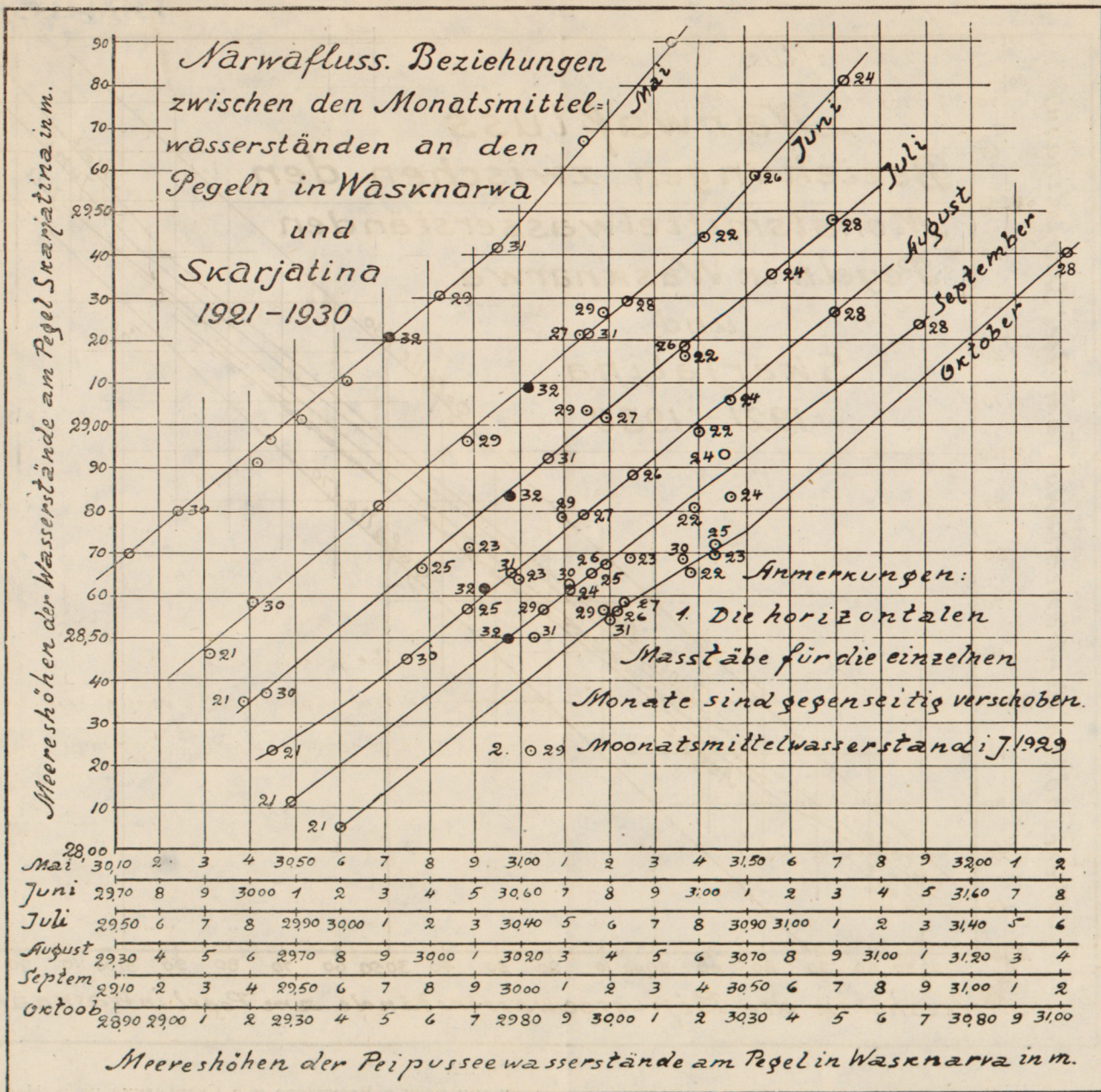


Рис. 1.

Зависимости между средними месячными показателями рек в Васкарве и Скарятине на р. Нарове за 1921-1930 гг.

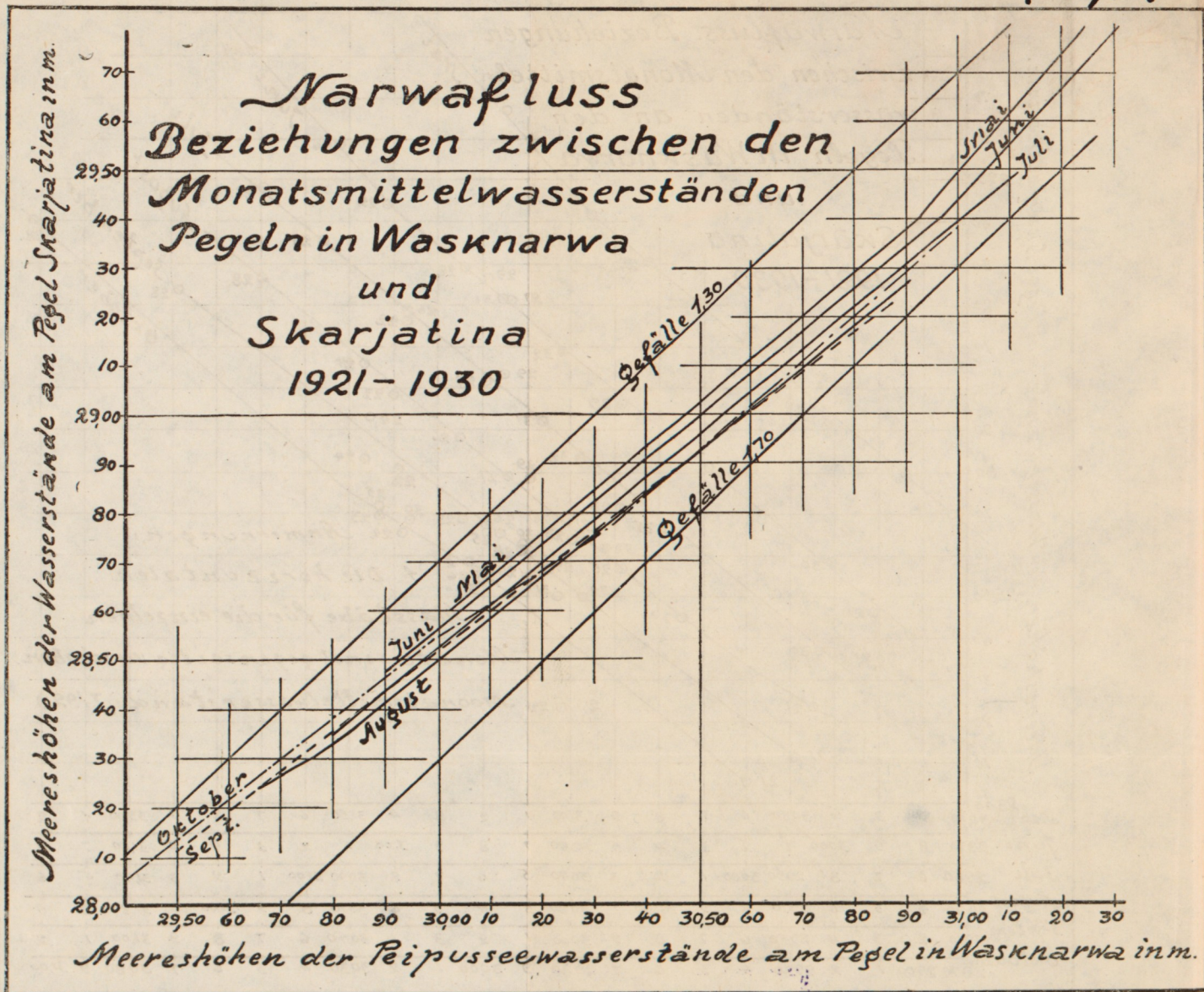
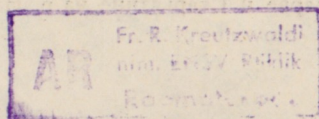


Рис. 2.

Зависимости между средними месячными показаниями рек в Васкнарве и в Скарьятине на р. Нарове за 1921-1930 гг.



AR - Fr. R. Theodor  
nim. ERICV B. 111  
Römhild, J. 111

Бесплатно