

11767

551  
Д 13  
11767

Л. К. Давыдов.

**КОЛЕБАНИЯ  
ВОДОНОСНОСТИ РЕК СРЕДНЕЙ АЗИИ**

ТАШКЕНТ

1929

## Колебания водоносности рек Средней Азии.

### ВВЕДЕНИЕ.

#### I.

«При прочих равных условиях, страна будет тем богаче текучими водами, чем обильнее осадки и чем менее испарение, как с поверхности почвы и вод, так и растений. Таким образом реки можно рассматривать, как продукт климата»<sup>1)</sup>. Эти идеи, высказанные А. И. Воейковым еще в 1884 г., являются и поныне, по чрезвычайно удачному определению Е. Оппокова, «руководящими при исследовании водоносности рек или их режима»<sup>2)</sup>. Исследования последующего за опубликованием упомянутого выше труда Воейкова периода дали ряд блестящих подтверждений этих идей для большого числа речных бассейнов, находящихся в различных странах, и в результате этих исследований совершенно отчетливо выкристаллизовалось то положение, что основным фактором стока являются атмосферные осадки, всем же прочим факторам, как климатического, так и физико-географического порядка надлежит отвести второстепенное место. Это положение находится в кажущемся противоречии с обычным представлением о речном стоке, как о весьма сложной функции, зависящей от большого числа различных факторов. Это противоречие, по мнению Пенка, легко разъясняется, если отделить количественную сторону вопроса от качественной, т. е. при характеристике количественного порядка, когда изучаются годовые колебания водоносности рек, на первый план выступают как раз атмосферные осадки; при качественной же характеристике, т. е. при изучении распределения стока по временам года при данном годовом количестве осадков определенная роль принадлежит всем другим факторам. С другой стороны, как указывает Оппоков, «выяснение преобладающей (доминирующей) роли атмосферных осадков в процессе речного стока должно только повлечь за собой установление более правильной оценки таких по существу второстепенных, или даже третьестепенных факторов, как влияние на количество речного стока почвенно-геологического и почвенно-растительного покрова речных бассейнов, роль которых в данном случае могла тем легче переоцениваться, что в прежнее время почти не было никаких фактических данных о самом стоке. Ныне же, когда данные о речном стоке в разных

<sup>1)</sup> А. И. Воейков. Климаты земного шара в особенности России. 1884 г., стр. 98.

<sup>2)</sup> Е. Оппоков. О водоносности рек в связи с атмосферными осадками и прочими факторами. 1911 г.

бассейнах появились, оказывается уже возможным подойти более или менее близко и к выяснению вопроса, если не о размерах, то по крайней мере о вероятных пределах влияния того или другого фактора в отдельности».

Существует ряд формул, определяющих величину стока за годовой период, как функцию того или иного вида от количества атмосферных осадков. Таковы формулы Пенка, Келлера, Уле, Шрейбера и др. Однако, все эти формулы имеют только частное значение. Формула общего вида известна под именем формулы Пенка-Оппокова и имеет вид: «осадки=сток+испарение» для многолетних средних величин и «осадки=сток+испарение  $\left. \begin{array}{l} + \text{прибыль} \\ - \text{убыль} \end{array} \right\}$  запаса влаги» для коротких периодов. Во все эти формулы входят абсолютные значения стока и осадков. Определение величины стока при наличии удовлетворительных материалов систематических наблюдений над уровнями и расходами реки не представляет особых затруднений. Точное же измерение количества атмосферных осадков, по мнению Э. Ольдекопа, «сопряжено с большими затруднениями и в строгом смысле едва ли выполнимо»<sup>1)</sup>. Во всяком случае для более или менее точного определения осадков в данной местности требуется достаточно густая сеть дождемерных пунктов, при чем густота этой сети должна возрастать по мере перехода от равнинной части страны к горной.

В условиях Средней Азии если и есть возможность дать количественную характеристику речного стока за тот или иной период, то значительно хуже обстоит дело с определением абсолютных величин количеств атмосферных осадков для различных речных бассейнов. В самом деле, метеорологические станции Средней Азии, имеющие наблюдения за относительно длинный промежуток времени, настолько немногочисленны, что не может быть и речи об определении количества атмосферных осадков для какого-либо речного бассейна. Вследствие малого количества метеорологических станций при изучении вопроса о колебании водоносности рек Средней Азии в зависимости от изменений метеорологических факторов нет возможности использовать абсолютные значения этих последних. Однако, если выбрать в каком-либо бассейне более или менее удачно несколько точек, данные метеорологических наблюдений в которых будут наиболее полно отражать изменения метеорологических элементов во всем бассейне, то в результате сопоставления данных метеорологических наблюдений в этих точках с водоносностью рек может быть подмечен ряд закономерностей, связывающих режим рек Средней Азии с метеорологическими факторами. Разрешению такого рода задачи и посвящено настоящее краткое исследование, которое по целому ряду причин ни в коем случае не может претендовать на исчерпывающую полноту и законченность. Сказанное становится совершенно понятным, если принять во внимание как краткую продолжительность периода времени, охватывающего изучение режима рек и климата, так и крайне ничтож-

<sup>1)</sup> Э. Ольдекоп. Об испарении с поверхности речных бассейнов. Юрьев 1911 г.

ное количество метеорологических станций, в особенности в водосборных частях бассейнов рек Средней Азии. При изучении колебания водоносности рек в зависимости от метеорологических факторов полезно подразделить изменения в режиме рек на две группы, многолетние и однолетние, т. к. (мы увидим это дальше) влияние метеорологических факторов на колебания водоносности различных групп носят совершенно различный характер.

## II.

Материалами для настоящего исследования, так же как и для всех аналогичных исследований, производящихся в Гидрометеорологическом Отделе Средне-Азиатского Метеорологического Института, послужили данные Гидрометрической части Института Водного Хозяйства в Средней Азии, данные опубликованные в Летописях Главной Физической Обсерватории и архивные материалы Средне-Азиатского Метеорологического Института.

В настоящем исследовании я широко пользовался методами корреляции, которые постоянно применяются в практике Гидрометотдела. Некоторые из этих корреляций были вычислены специально для настоящей работы, другие заимствованы из тех вспомогательных исследований, которые производились при несении службы прогнозов расходов рек Средней Азии, осуществляемой в настоящее время Гидрометеорологическим Отделом при коллективном сотрудничестве Л. К. Давыдова, В. Е. Суровцева и Н. П. Глаголевой. При исчислении коэффициентов корреляции условно принималось, что при значениях коэффициентов корреляции, в 4 раза превышающих свою вероятную ошибку, связь между коррелируемыми элементами существует. Поэтому во всех таблицах, в которые входят значения тех или иных коэффициентов корреляций, эти последние напечатаны курсивом, если указанное выше условие  $\left( \frac{r}{w_r} \cong 4 \right)$  не соблюдено.

Для того, чтобы в дальнейшем изложении избегать некоторых повторений, я считаю необходимым привести в табличной форме некоторые краткие сведения о том, к каким гидрометрическим постам и станциям относятся данные о расходах и данные каких метеорологических станций брались при изучении зависимости режима той или иной реки от метеорологических факторов.

Р е к а	Пост или станция	Метеорологические факторы	
		Атмосферные осадки	Температура
Мургаб . . . . .	п. Казыклы-Бент . .	Термез + Керки 2	Байрам-Али
Чирчик . . . . .	п. Чимбайлыкский .	Ташкент + Аулиэ-Ата 2	Ташкент + Аулиэ-Ата 2
Нарын . . . . .	ст. Уч-Курганская .	Нарын + Каракол + Анд. 3	Нарын

Река	Пост или станция	Метеорологические факторы	
		Атмосферные осадки	Температура
Сыр-Дарья . . . . .	ст. Запорожская . .	Нарын + Каракол + Анд.	Нарын
		3	
Исфайрам-Сай . . . .	п. Уч-Курганский . .	Андижан	Андижан
Зеравшан . . . . .	ст. Дупулинская + п. Суджинский (Магиан-Дарья)	Самарканд	Самарканд
Аму-Дарья <sup>1)</sup> . . . . .	п. Чарджуйский . .	—	Керки

<sup>1)</sup> Для Аму-Дарьи всегда брались уровни в метрах.

### Многолетние колебания водоносности рек Средней Азии.

#### I.

Еще в 1896 г. Пенк писал, что—«карта атмосферных осадков в бассейне реки есть в то же время и карта речного стока в нем». Если взглянуть на карту годовых изогий Средней Азии, то нетрудно видеть, насколько хорошо совпадают районы со значительными количествами осадков с районами наибольшего развития в гидрографическом отношении. В самом деле наибольшей густоты достигает гидрографическая сеть Средней Азии в наиболее возвышенной нагорной части ее, т.-е. как раз там, где выпадают наибольшие количества атмосферных осадков.

Таким образом, сравнивая между собой карты гидрографическую и климатическую, мы имеем первое указание на существование зависимости между водоносностью рек и осадками в Средней Азии. Следует при этом заметить, что такого рода соотношение между густотой гидрографической сети и атмосферными осадками наблюдается, повидимому, независимо от того, к какому типу принадлежат реки отдельных районов. Согласно классификации, предложенной А. Воейковым, все реки Средней Азии принадлежат к тому типу, что «получают воду от таяния снега в горах»<sup>1)</sup>. Естественно, что объединение всех рек Средней Азии в одну группу представляет определенные неудобства и требует дальнейшей детализации в классификации рек по характеру их питания. Такого рода детализация была предложена Э. Ольдекопом<sup>2)</sup>. Последний подразделяет все реки Средней Азии на три типа: ледниковые, снеговые и смешанные. К ледниковому типу принадлежат реки, питание которых происходит за счет таяния вечных снегов и льдов. Они характеризуются высоко расположенными областями питания, находящимися выше линии вечного снега. В их бассейнах запасы «сезонных снегов» ничтожны по сравнению с запа-

<sup>1)</sup> А. Воейков *ibid* стр. 105.

<sup>2)</sup> Ольдекоп. К вопросу о прогнозе расходов рек в Туркестане. Бюллетень Гидрометрической Части в Туркестанском крае № 1—2—3.

сами вечного снега и льда. Характерной особенностью их режима является позднее наступление максимума, совпадающее с наступлением температурного максимума. К рекам снегового типа Ольдекоп относит реки, питающиеся за счет таяния «сезонных» снегов. Области их питания расположены ниже снеговой линии. Максимум расходов этих рек характеризуется ранним временем наступления. К третьему переходному типу, по определению Ольдекопа, «относятся реки, питающиеся отчасти «сезонными», отчасти «вечными снегами»<sup>1)</sup>. К этому типу, повидимому, принадлежит громадное большинство рек Средней Азии.

Если придерживаться этой классификации, то реки Средней Азии распределяются следующим образом:

Ледниковые		Снеговые		Смешанные	
Название рек	Время максимума	Название рек	Время максимума	Название рек	Время максимума
Сох . . . . .	Июль-Август	Кара-Дарья .	Май	Нарын . . . .	Июнь
Иофара . . . .	..	Кугарт . . . .	..	Сыр-Дарья . .	..
Холжа-Бамырган . . . .	..	Майли-Су . . .	..	Ак-Бура . . . .	..
Ала-Моллина . . .	..	Паша-Ата . . .	..	Араван . . . .	Июнь-Июль
Ала-Арча . . . .	Июнь-Август	Касан-Сай . . .	..	Исфайрам-Сай <sup>2)</sup>	..
Зеравшан . . . .	Июль-Август	Гава-Сай . . . .	..	Шахимардан .	..
Вахш . . . . .	Июль	Санзар . . . . .	..	Ак-Су, (Ферг.)	..
		Ангрен . . . . .	..	Чирчик . . . .	..
		Армысь . . . . .	..	Ак-Су (б. Армысь)	..
		Аргайты . . . .	..	Чу . . . . .	..
		Мургаб . . . . .	..	Меркэ . . . . .	Июнь
		Теджен . . . . .	..	Талас . . . . .	..
				Пап . . . . .	..
				Кок-Су . . . . .	..
				Лепса . . . . .	Июнь-Июль
				Магиан-Дарья	..
				Аму-Дарья . .	..
				Пяндж . . . . .	..

Как видно из приведенной таблички, заимствованной у Ольдекопа в упомянутой выше работе, большинство рек принадлежит к смешанному типу. Действительно, рек смешанного типа насчитывается 18, снегового 12 и ледникового всего 7, причем реки ледникового и снегового типа обладают в большинстве случаев бассейнами относительно меньших размеров, чем реки смешанного типа питания<sup>2)</sup>. Независимо

<sup>1)</sup> Э. Ольдекоп *ibid* стр. 27.

<sup>2)</sup> Есть основание предполагать, что чем больше бассейн реки, в питании которой принимают участие ледники, тем более усиливается на жизнь реки влияние сезонного питания и тем более, следовательно, река удаляется от ледникового типа. В сущности говоря, рек ледникового типа в чистом виде в Средней Азии не существует.

<sup>3)</sup> Шахимардан и Исфайрам-Сай довольно близко примыкают к рекам ледникового типа.

от того, к какому типу принадлежат все эти реки,—водоносность их зависит по преимуществу от количества атмосферных осадков, выпадающих в их бассейне.

Для того, чтобы иллюстрировать это положение, приводим ряд графиков средних годовых расходов некоторых рек Средней Азии и сумм атмосферных осадков за год по данным метеорологических станций, часть которых расположена в бассейнах изучаемых рек, часть же лежит вне их, но в непосредственной близости с ними, или в районах, относительно которых есть основание предполагать, что изменения погоды в них отражают изменения погоды в интересующем нас речном бассейне.

Более убедительным доказательством существования тесной связи между расходами рек и количеством атмосферных осадков за год, чем сопоставление графиков этих элементов, являются значения коэффициентов корреляции между этими величинами.

В приведенных графиках и таблицах имеются реки, принадлежащие ко всем трем типам питания, и, однако, для всех них становится несомненной тесная связь между количеством воды за год и годовыми суммами атмосферных осадков, несмотря на то, что количества осадков подсчитаны вовсе не для всего бассейна в целом, а взяты по данным отдельных станций, расположенных в низменных частях речных бассейнов, а иногда и вне их.

Вместе с тем надлежит заметить, что существует некоторое определенное различие между формами или, правильнее, сущностью связи между водоносностью и количеством атмосферных осадков для рек различного типа. Это различие можно подметить следующим образом.

Если вычислить коэффициенты корреляции между расходами и атмосферными осадками не для отдельных лет, а для последовательных двухлетий, затем трехлетий и т. д., то получатся в высшей степени интересные результаты: <sup>1)</sup>

	Мургаб.	Чирчик	Нарын	Сыр-Дарья	Исфайрам-Сай	Зеравшан
$r_1$	0.69	0.87	0.85	0.82	0.62	0.74
$r_2$	0.43	0.87	0.92	0.86	0.74	0.81
$r_3$	-0.10	0.88	0.97	0.91	0.80	0.92
$r_4$	-0.52	0.85	0.98	0.94	—	0.91
$r_5$	(-0.06)	0.79	0.97	0.93	—	0.93

В этой табличке под символом  $r$ , следует понимать коэффициент корреляции между расходами и суммами атмосферных осадков, вычисленный для последовательных средних значений этих величин

<sup>1)</sup> К сожалению данные таблички коэффициентов корреляции между годовыми расходами и годовыми суммами осадков имеют относительные значения, т. е. величины их зависят не только от степени связи между расходами и осадками, но и от того, насколько удачно выбраны те или иные метеорологические станции для вычисления этих коэффициентов.

для промежутка времени в  $i$  лет. Так напр., для р. Чирчика  $r_5$  обозначает коэффициент корреляции, вычисленный для пятилетних средних значений годовых расходов и сумм атмосферных осадков, т.-е. для этих последних последовательно взяты средние за промежуток времени 1901—1905, 1902—06, 1903—07 и т. д. Для реки Мургаб коэффициенты корреляции уменьшаются и в конце концов принимают отрицательный знак. Для р. Чирчика, как видно из приведенной таблички, коэффициенты корреляции остаются почти постоянными <sup>1)</sup> до  $r_3$ , затем они начинают уменьшаться. Для р. Сыр-Дарьи коэффициенты корреляции непрерывно растут до  $r_4$ , после чего остаются постоянными и даже имеют тенденцию к уменьшению. То же самое для р. Нарын. Для р. Зеравшан это увеличение коэффициента корреляции выражено еще более отчетливо и продолжается гораздо дольше. Это различие в ходе, если можно так выразиться, коэффициентов корреляции становится вполне понятным, если вспомнить, что р. Мургаб принадлежит к снеговому типу, р. Чирчик довольно близка к этому же типу, р. Сыр-Дарья смешанного, а р. Зеравшан—ледникового питания.

Для рек снегового типа характерной особенностью является сезонный характер питания. Годовое количество воды в них зависит от количества атмосферных осадков, выпавших в их бассейнах в течение года. Круговорот влаги в них охватывает относительно незначительный промежуток времени, по всей вероятности в этом случае несколько более одного года и менее трех лет, иными словами роль дополнительного члена в уравнении Пенка-Оппокова, известного под наименованием «прибыль», «убыль запаса влаги» незначительна. Другое дело реки ледникового типа. Высоко расположенные области питания их служат мощными аккумуляторами влаги. Атмосферные осадки, выпадающие в области фирновых полей, претерпевают сложную серию превращений, прежде чем путем таяния попадут в реку. Требуется, повидимому, довольно значительный промежуток времени для того, чтобы атмосферные осадки превратились в фирн, фирн превратился в лед в верхней части ледника, а этот последний в своем медленном движении достиг, наконец, того положения, где начинается таяние льда, и талая вода попадает, наконец, в реку. Таким образом можно предполагать, что для рек ледникового типа период времени, в течение которого совершается круговорот влаги в речном бассейне, много больше, чем для рек снегового типа; кроме того, для ледниковых рек, повидимому, значительно возрастает роль и значение того дополнительного члена уравнения Пенка-Оппокова—«прибыль» и «убыль», который имеет второстепенное значение для рек снегового типа.

Реки смешанного типа питания занимают промежуточное положение между реками снегового и ледникового типа. Точнее говоря, для рек смешанного типа оба процесса питания как бы накладываются один на другой и создают довольно сложную запутанную картину. В годы богатые осадками на первый план выступает питание за счет

<sup>1)</sup>  $r_1$ ,  $r_2$  и  $r_3$  отличаются друг от друга не более, чем на 0,005.

«сезонных осадков», в годы засушливые главная роль принадлежит ледниковому питанию. Результатом такой сложности процесса питания, между прочим, является увеличение устойчивости или, правильнее, постоянства средних годовых расходов по мере перехода от рек снегового типа к рекам ледникового.

Для характеристики устойчивости средних годовых расходов составлена следующая табличка:

Название реки:	Q max.	Q min.	$\frac{Q \text{ max.} - Q \text{ min.}}$	$\sigma Q / Q$
Мургаб . . . . .	89	22	67	0,30
Чирчик . . . . .	357	136	221	0,23
Сыр-Дарья . . . . .	1052	295	757	0,25
Нарын . . . . .	775	274	501	0,25
Исфайрам-Сай . . . . .	24.4	15.6	8.8	0,13
Зеравшан . . . . .	201	142	59	0,11

В эту табличку входят максимальные и минимальные из средних годовых расходов за все время наблюдений, разность между этими величинами, которую мы условно назовем амплитудой годовых расходов, и отношение к среднему годовому расходу средней квадратичной, т.-е.  $\frac{\sigma Q}{Q}$ ; последнее отношение по существу и может характеризовать степень устойчивости средних годовых расходов.

Из приведенной таблички видно, что  $\frac{\sigma Q}{Q}$  достигает максимальных значений для рек снегового типа (Мургаб), минимальных для рек ледникового типа или близких к ним (Зеравшан, Исфайрам-Сай); реки смешанного типа и здесь занимают промежуточное положение. Как указывалось выше, такого рода распределение устойчивости в зависимости от принадлежности к тому или иному типу реки становится совершенно понятным, если принять во внимание различный характер влияния атмосферных осадков на режим рек различного типа.

Таким образом, повидимому, совершенно очевидным является то громадное значение, которое имеют атмосферные осадки для рек Средней Азии.

Для того, чтобы выяснить влияние температуры воздуха на колебания водоносности рек Средней Азии, обратимся к табличке коэффициентов корреляции между расходами и средними температурами воздуха для второго срока наблюдений, т.-е. для 13<sup>h</sup>.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> При вычислении различных коэффициентов корреляции, когда изучалась роль температуры воздуха, брались не средние суточные, а средние часовые, т. к. практика показала, что для летнего полугодия, где влияние температуры, естественно, надо было ожидать наибольшим, наилучшие зависимости получались, когда бралась именно эта температура.

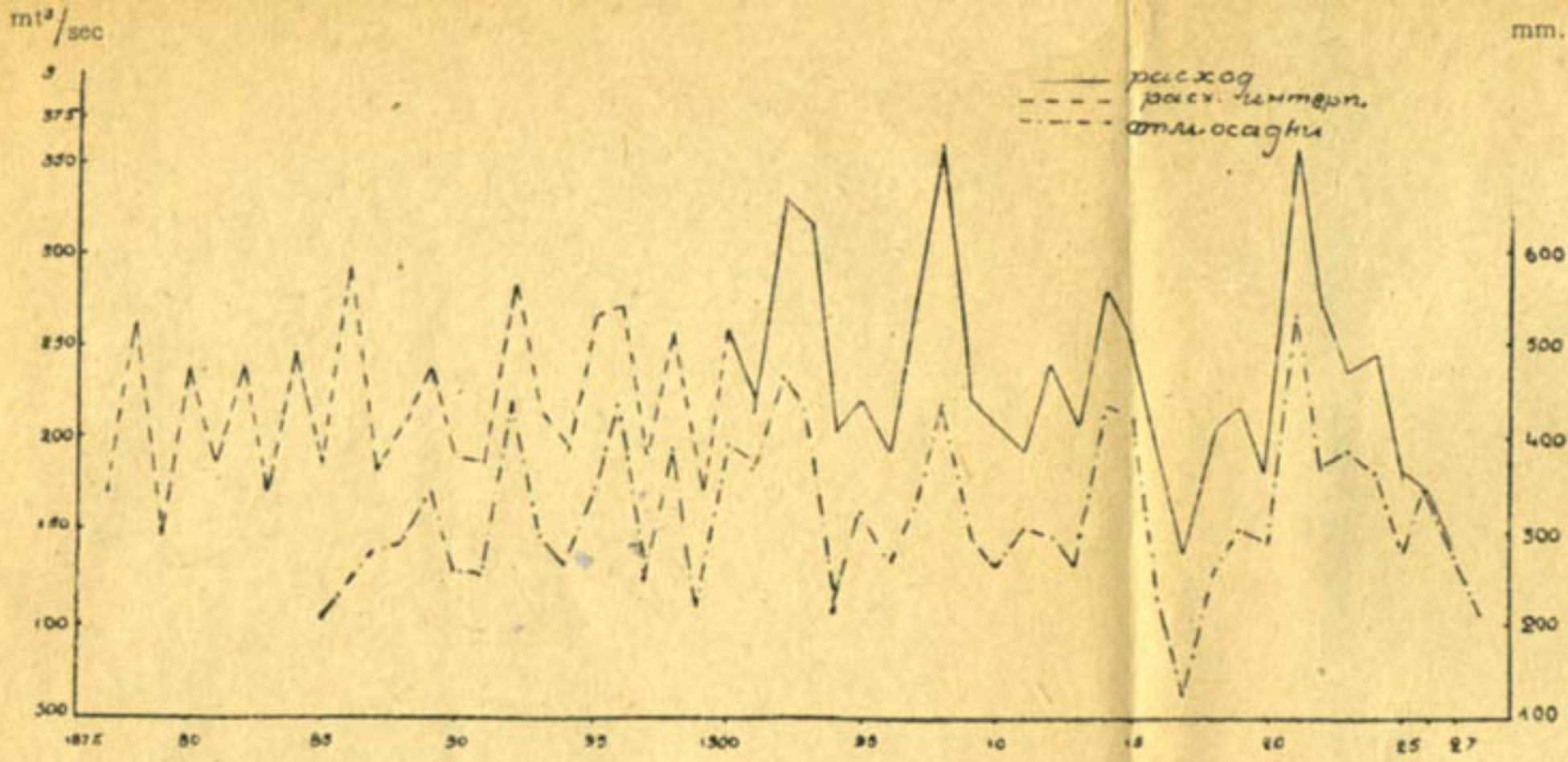
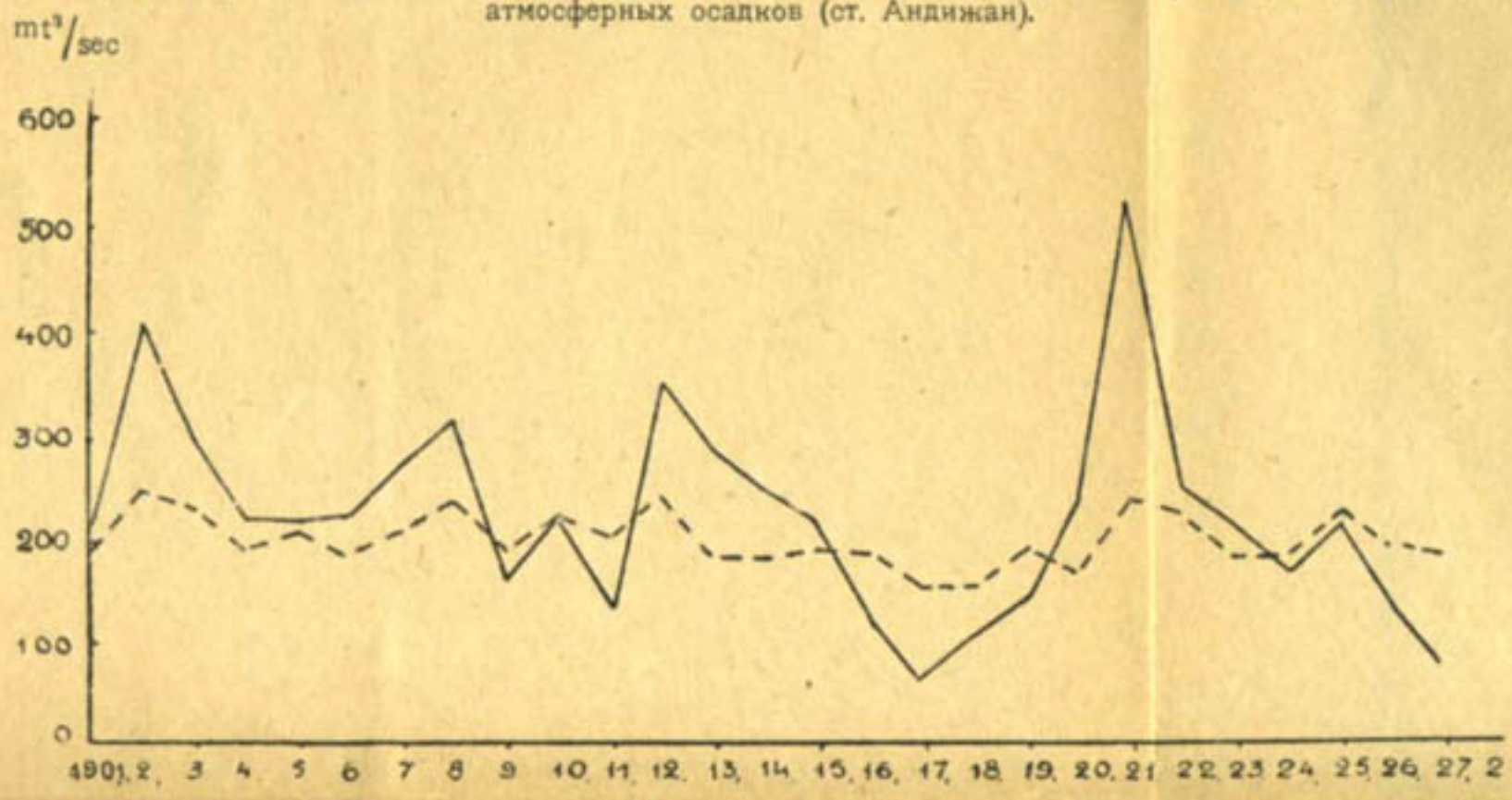


График средних годовых расходов р. Исфайрам-Сая (п. Уч-Курганский) и годовых сумм атмосферных осадков (ст. Андижан).



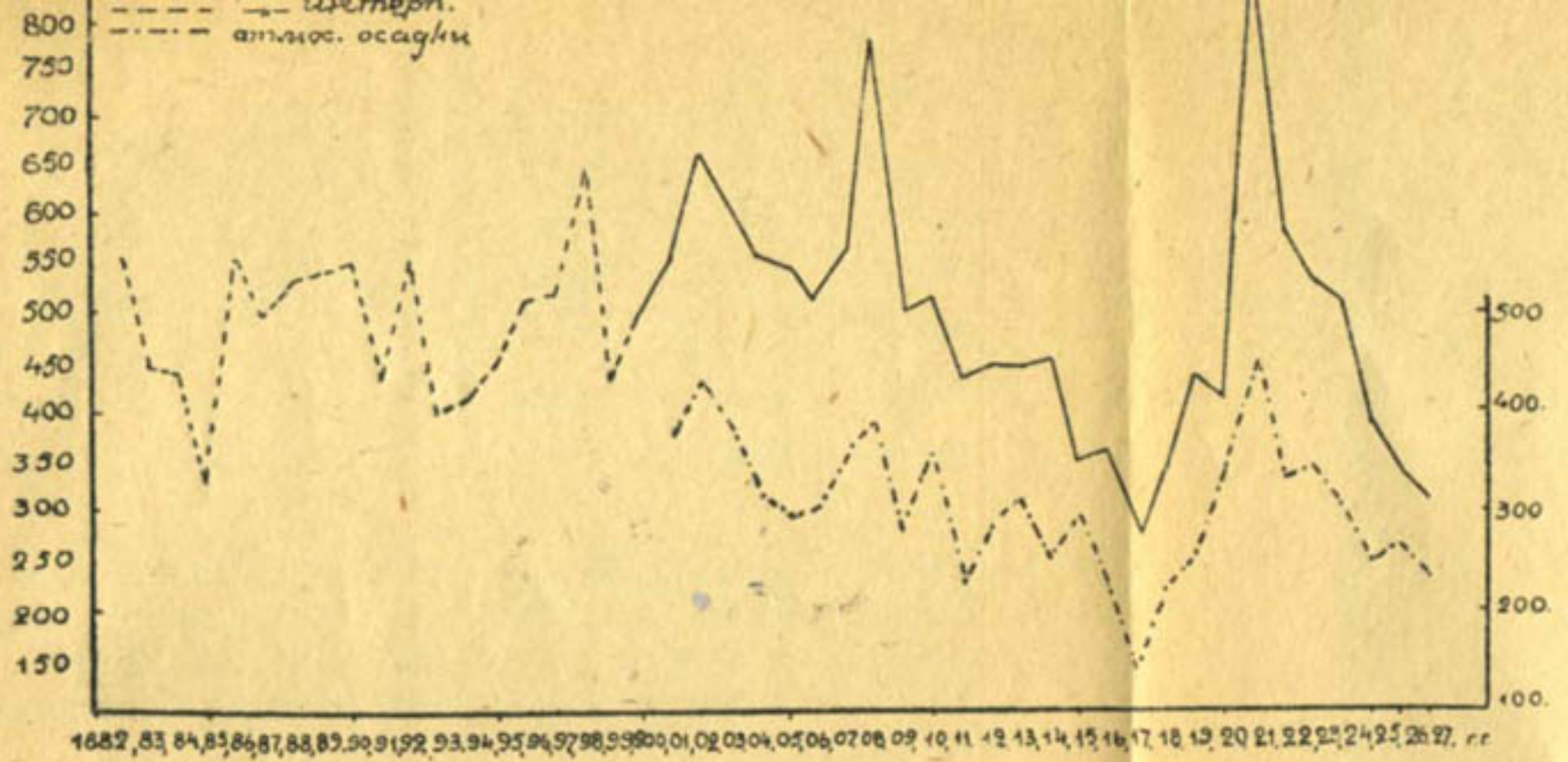
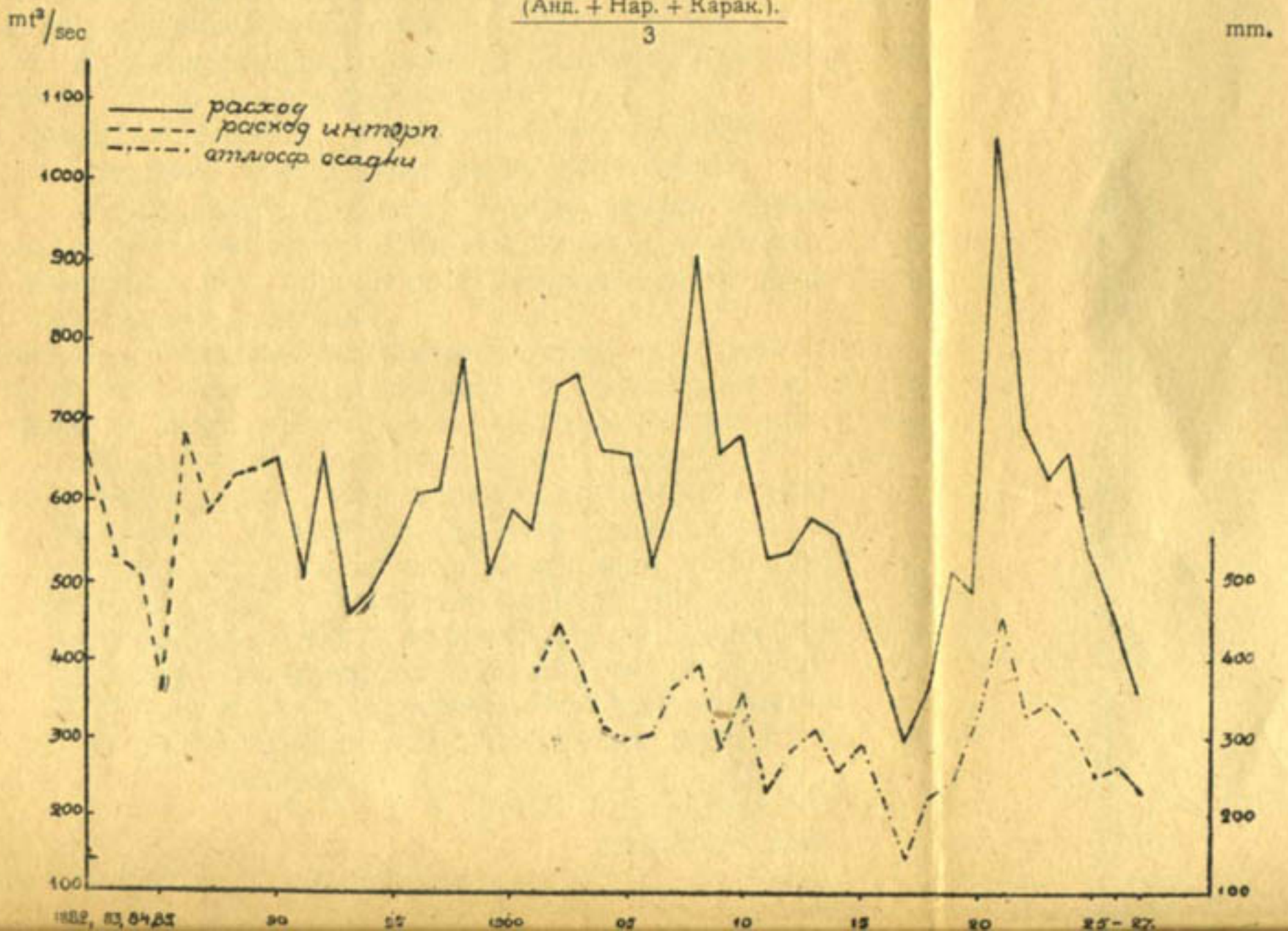


График средних годовых расходов р. Нарын и годовых сумм атмосферных осадков (Анд. + Нар. + Карак.).

3



Название реки:	Коэффициенты корреляции между			
	Q год t <sup>13</sup> год	Q зим. t <sup>13</sup> зим.	Q лет. t <sup>13</sup> лет.	Q лет. t <sup>13</sup> зим.
Мургаб . . . . .	-0.33	-0.12	-0.48	-0.13
Чирчик . . . . .	-0.38	-0.26	-0.50	-0.37
Нарын . . . . .	-0.49	-0.29	-0.54	-0.41
Сыр-Дарья . . . . .	-0.59	-0.40	-0.51	-0.55
Аму-Дарья . . . . .	-0.75	-0.52	-0.54	-0.67
Зеравшан . . . . .	-0.18	0.22	-0.28	-0.08
Исфайрам-Сай . . . . .	-0.16	-0.29	-0.33	-0.29

В этой табличке приведены коэффициенты корреляции между температурой воздуха в 13<sup>h</sup> и расходами за год, между этими же элементами, отнесенными к зимнему и летнему полугодиям отдельно. Рассмотрение этой таблички позволяет придти к следующим заключениям:

1) абсолютные значения коэффициентов корреляции, связывающих расходы с температурами, в общем невелики и во всяком случае меньше абсолютных значений коэффициентов корреляции между расходами и атмосферными осадками;

2) все коэффициенты корреляции, за исключением зимнего полугодия для р. Зеравшана, отрицательны;

3) абсолютные значения коэффициентов корреляции наибольшие для летнего полугодия и наименьшие для зимнего.

Отсюда можно придти к выводу, что, во-первых, температура воздуха играет второстепенную роль по сравнению с атмосферными осадками, а во-вторых, что пониженным температурам должны соответствовать повышенные расходы.

Сказанное не вызывает особых недоумений, если речь идет о связи между годовыми расходами и зимними температурами, и на первый взгляд кажется совершенно парадоксальным, когда это относится к летнему полугодию. В самом деле, если учесть то обстоятельство, что питание рек Средней Азии в летнее время происходит за счет таяния снега и льда, то казалось бы, что повышенные температуры летнего полугодия должны вызвать повышение количества воды в реках в этом же полугодии. В действительности же, как на это указывает знак всех коэффициентов корреляции, мы имеем совсем иную картину. По моему убеждению, объяснение этому кажущемуся противоречию нужно искать в следующем. Как уже указывалось выше, зависимость прямого порядка между количеством воды в реке и атмосферными осадками несомненна.

Годы многоводные представляют собой в то же самое время и годы обильные атмосферными осадками. В эти годы запасы снега в горах очень велики, снеговой покров занимает очень большие пространства

и достигает большой мощности. На расходование снегового покрова путем таяния требуются значительные количества тепла, и они тем больше, чем больше запасы снега. Это расходование больших количеств тепла на таяние обуславливает, повидимому, пониженные температуры воздуха. Напротив в засушливые годы, когда запасы снега относительно незначительны, освободившиеся по сравнению с многоводными годами большие запасы тепла идут на нагревание речного бассейна и на повышение температуры воздуха. Таким образом, было бы, быть может, более правильно формулировать следующим образом зависимость между летними расходами и температурой воздуха за летнее полугодие: повышенным расходам летнего полугодия соответствуют пониженные температуры воздуха того же полугодия и наоборот—пониженным расходам соответствуют повышенные температуры.

Что же касается отрицательного знака коэффициента корреляции между расходами летнего полугодия и температурами зимнего полугодия, то такого рода зависимость, конечно, не требует особых пояснений. Действительно, чем холоднее зимний период, чем реже в нем наблюдались оттепели, тем сохраннее запасы влаги в твердом виде в речном бассейне и, стало быть, тем больше расходы в летнем полугодии.

Весьма вероятно, что гораздо большее влияние на водоносность рек Средней Азии, по сравнению с температурой воздуха, имеет солнечная радиация, т. к. таяние ледников происходит в значительной степени под непосредственным воздействием солнечных лучей, но, к сожалению, изучение этого крайне важного элемента началось очень недавно, и материалов для выяснения степени влияния солнечной радиации на водоносность рек совершенно недостаточно.

Кроме того, казалось бы совершенно естественным, поскольку сток в многолетних средних величинах определяется, как разность между атмосферными осадками и испарением, предположить существование определенной зависимости между водоносностью рек и испарением или теми метеорологическими факторами, от которых зависит величина испарения, главным образом недостатком насыщения.

К сожалению, материалы наблюдений над испарением с поверхности всего бассейна отсутствуют вовсе. Имеются крайне неполные за короткий период времени данные наблюдений над испаряемостью в бассейне р. Чирчика за 9 лет (Ташкент+Аулие-Ата) и недостатком насыщения за 16 лет (Ташкент). Коэффициент корреляции между годовыми расходами и испаряемостью равен всего  $-0,53 \pm 0,16$ , между расходами и недостатком насыщения  $= -0,44 \pm 0,14$ .

## II.

Таким образом можно считать очевидным, что основное положение гидрологии, определяющее водоносность рек, как функцию количества атмосферных осадков, является вполне справедливым и в условиях Средней Азии. Это обстоятельство дает возможность остановиться

на характеристике самих колебаний водоносности средне-азиатских рек, пользуясь тем, что при наличии определенной связи между водоносностью рек и атмосферными осадками можно продолжить—экстраполировать во времени график одного из этих элементов и, следовательно, охватить гораздо больший промежуток времени, чем это позволили бы сделать данные непосредственных наблюдений над водоносностью рек. Наиболее значительный промежуток времени охватывают наблюдения над уровнями реки Аму-Дарьи у поста Чарджуйского, данные по которому имеются за время с 1886 г. по 1927 г.<sup>1)</sup>, т-е. за 41 год.

График средних годовых уровней р. Аму-Дарьи (п. Чарджуйский).

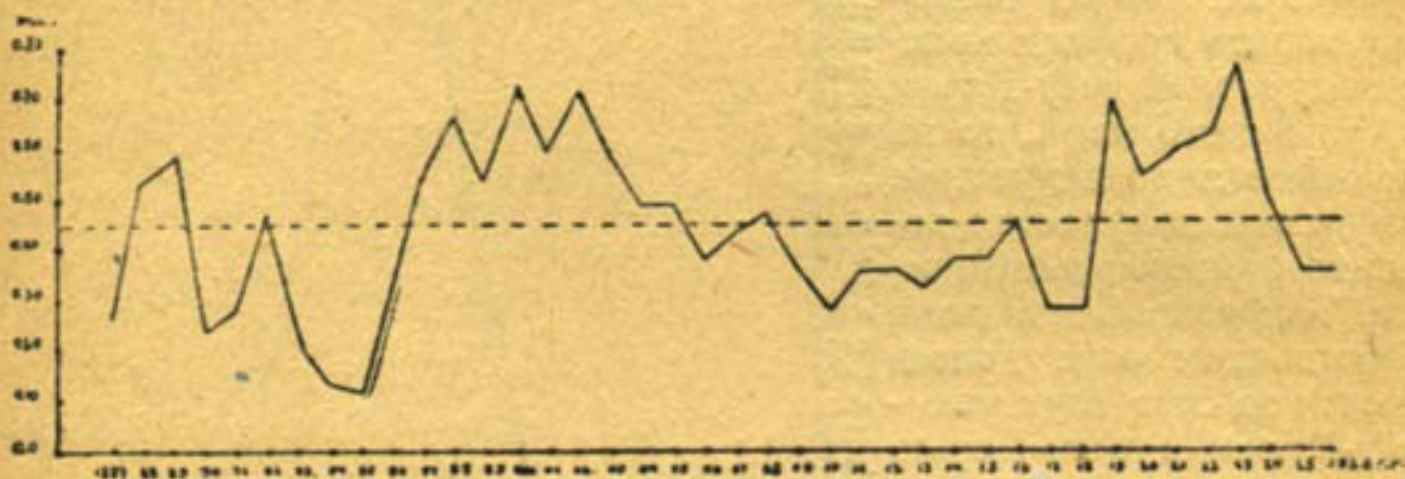


График горизонтов Аральского моря.



На первом графике—сплошная линия— изменения средних годовых уровней Аму-Дарьи у поста Чарджуйского за время с 1886—1927 г., на втором—изменения горизонта Аральского моря<sup>2)</sup>; горизонтальная пунктирная линия проведена соответственно многолетнему среднему годовому значению уровня Аму-Дарьи. Из рассмотрения этих графиков можно придти к следующим выводам. С момента начала наблюдений (1886/87 г. по 1895/96) в подавляющем большинстве случаев годовые уровни меньше многолетних средних. Начиная с 1896/7 г. и по 1904/05 г. наоборот годовые уровни выше многолетних

<sup>1)</sup> Данные за время с 1886 г. по 1915 г. заимствованы у А. И. Тхоржевского (Материалы по гидрометрии рек бассейна Аму-Дарьи. Вып. I, за остальное время, у У. В. Х. Туркменистана.

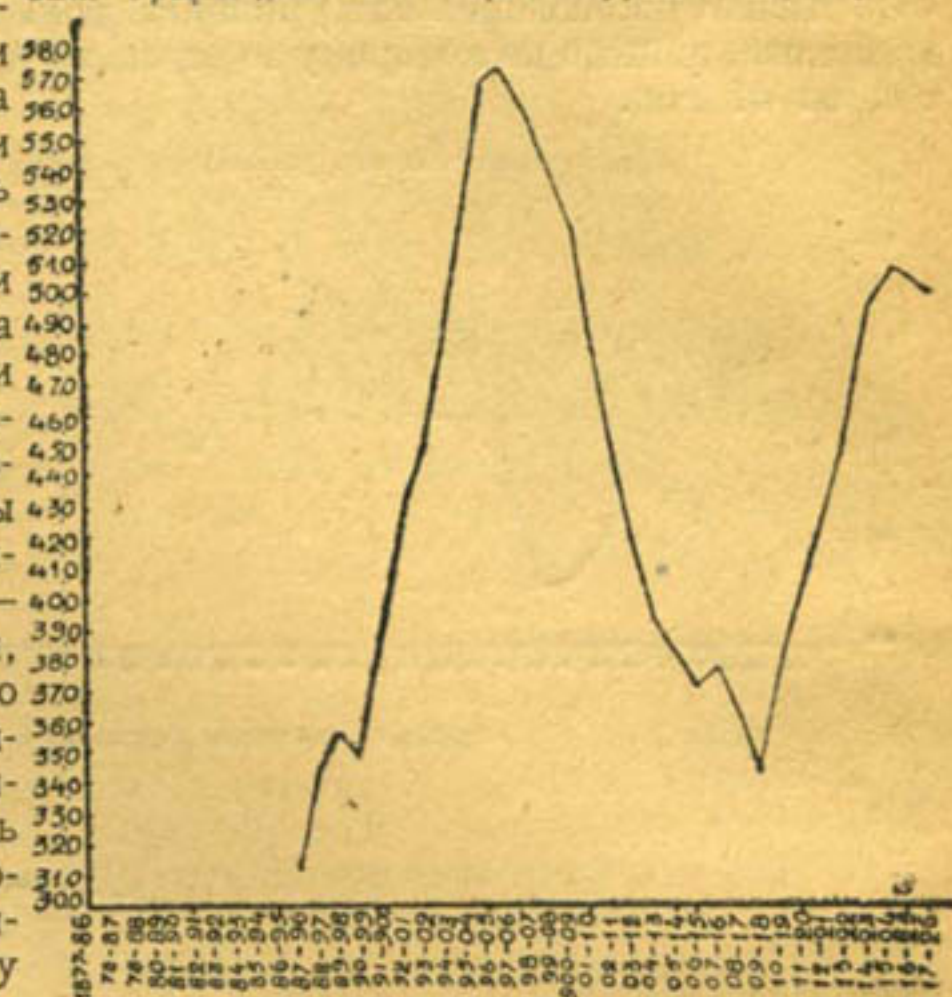
<sup>2)</sup> Материалы заимствованы из записки «Колебания уровня Ар. моря», составленной инж. Тарановым, Н-ком изысканий Управления В. В. П. в Средней Азии (1928 г.).

средних, затем снова с 1905/06 г. начинается период пониженных уровней и этот период заканчивается 1917/18 г., после чего опять наблюдается период повышенных уровней. Иначе говоря, у годовых уровней Аму-Дарьи наблюдается своего рода тенденция к периодичности. Эта тенденция еще лучше выявляется, если построить график последовательных средних десятилетних уровней Аму-Дарьи. Дей-

ствительно, минимумы в <sup>Самт.</sup> этом случае падают на де-

сятилетия 1886—1895 и 1909—1918, максимумы на десятилетия 1897—1906 и 1915—1924. Если теперь сопоставить графики колебаний уровней Аму-Дарьи и Аральского моря, то на первый взгляд между этими графиками получается довольно странное соотношение. Так как запасы воды в Аральском море пополняются за счет двух рек—Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи, при чем Аму-Дарья по Цинзерлингу<sup>1)</sup> несет примерно 71% от общей суммы обеих рек, то казалось бы, что должен существовать отчетливо выраженный параллелизм между уровнями Аму-Дарьи и

Самт. График десятилетних средних уровней Аму-Дарьи



Аральского моря. В действительности же дело обстоит вовсе не так просто. На приведенном выше графике видно, что период пониженных отметок горизонтов Аральского моря совпадает на графике с периодом повышенных уровней Аму-Дарьи. Напротив, в годы 1911, 12, 13, 14, 15, 16, 17 мы имеем повышенные отметки горизонтов Аральского моря при пониженных значениях уровней Аму-Дарьи.

Вероятнее всего налицо имеется определенное запаздывание во влиянии водоносности Аму-Дарьи на величину уровней Аральского моря. В самом деле период пониженных уровней Аму-Дарьи до 1897 г. по всей вероятности был причиной пониженных уровней Аральского моря до 1901 г. Повышение уровней за период с 1897 по 1905 г. обусловило последующее повышение горизонта Аральского моря. Затем с 1916 г. уровни моря стали уменьшаться, и это уменьшение продолжалось и до 1920 г. К сожалению, за промежуток времени с 1910 г. до 1924 г. данные об уровнях Аральского моря отсутствуют. С 1924 по 1925 г. уровни возрастают, а затем далее до 1927 г. включительно снова уменьшаются.

<sup>1)</sup> В. В. Цинзерлинг. Орошение Аму-Дарьи, стр. 151.

Таблица отметок уровней Аральского моря<sup>1)</sup>.

Г О Д Ы	Абсолютная отметка в метрах над уровнем моря	Г О Д Ы	Абсолютная отметка в метрах над уровнем моря
1780	54.44	1903	54.49
1793	52.84	1908	54.66
1800	53.02	1912	54.83
1820	51.74	1913	54.83
1824	51.59	1914	54.81
1843	53.64	1915	54.83
1848	52.91	1916	54.76
1857	52.36	1917	54.56
1862	52.70	1918	54.55
1874	52.45	1920	53.70
1880	51.74	1924	54.63
1892	52.53	1925	54.78
1901	53.66	1926	54.68
1902	54.06	1927	54.56

Сопоставление графиков колебаний уровней Аральского моря и Аму-Дарьи позволяет, между прочим, скептически отнестись к утверждению Цинзерлинга о том, что расходы рек Аму-Дарьи за период времени с 1910 г.—1917 г. являются максимальными, так как в действительности эти годы как раз падали, согласно графика Аму-Дарьинских уровней, на период пониженной водоносности Аму-Дарьи.

Приведенный график интересен еще в одном отношении. Проф. Н. Л. Корженевский в своей статье: «Результаты осмотра ледников в верховьях р. Мук-Су летом 1924 г.»<sup>2)</sup> приводит очень интересные данные о колебании двух мощных ледников, принимающих участие в питании реки Мук-Су—ледника Федченко и ледника Мушкетова. Проф. Корженевский отмечает, что для обоих ледников 1904 и 1924 г. являются годами значительного отступления ледников, а 1914 г. наступания. Если принять во внимание, что водоносность р. Аму-Дарьи, также как водоносность и всех рек Средней Азии, представляет собой функцию от количества атмосферных осадков в ее бассейне, то график уровней Аму-Дарьи будет в значительной мере характерным и для изменения сумм атмосферных осадков в бассейне р. Аму-Дарьи из года в год.

Годы 1904 и 1924, отмеченные Корженевским, как годы отступления ледников, падают на периоды повышенных уровней Аму-Дарьи,

<sup>1)</sup> Таблица заимствована у инж. Таранова.

<sup>2)</sup> Н. Л. Корженевский. Результаты осмотра ледников в верховьях р. Мук-Су летом 1924 г. Вестник Ирригации № 9 1924 г.

а стало быть и повышенных атмосферных осадков, последовавших за периодом пониженных уровней, а следовательно и засушливых лет.

1914 г. входит в состав периода пониженных уровней, наступившего после периода повышенной водоносности Аму-Дарьи, а следовательно и повышенного выпадения атмосферных осадков. Таким образом, быть может, было бы правильно высказать предположение о том, что ледники Мушкетова и Федченко в своих колебаниях значительно отстают от соответствующих колебаний сумм атмосферных осадков в бассейне р. Аму-Дарьи. <sup>1)</sup>

Для р. Сыр-Дарьи имеются данные наблюдений за время с 1899/1900 г. по 1926/27 г., т. е. за 28 лет.

Если воспользоваться установленными формами зависимости в виде уравнений регрессии между годовыми расходами реки Сыр-Дарьи и осадками метеорологических станций Каракол и Нарынск, то можно интерполировать годовые расходы р. Сыр-Дарьи за время с 1881/82 по 1898/99 г. и таким образом получить данные о годовых расходах Сыр-Дарьи за 46 лет с 1881/82 по 1926/27 г.

На приведенном на стр. 9—10 графике также можно подметить тенденцию к периодичности. В самом деле, как это видно из приведенного графика, частные максимумы и минимумы падают на следующие годы:

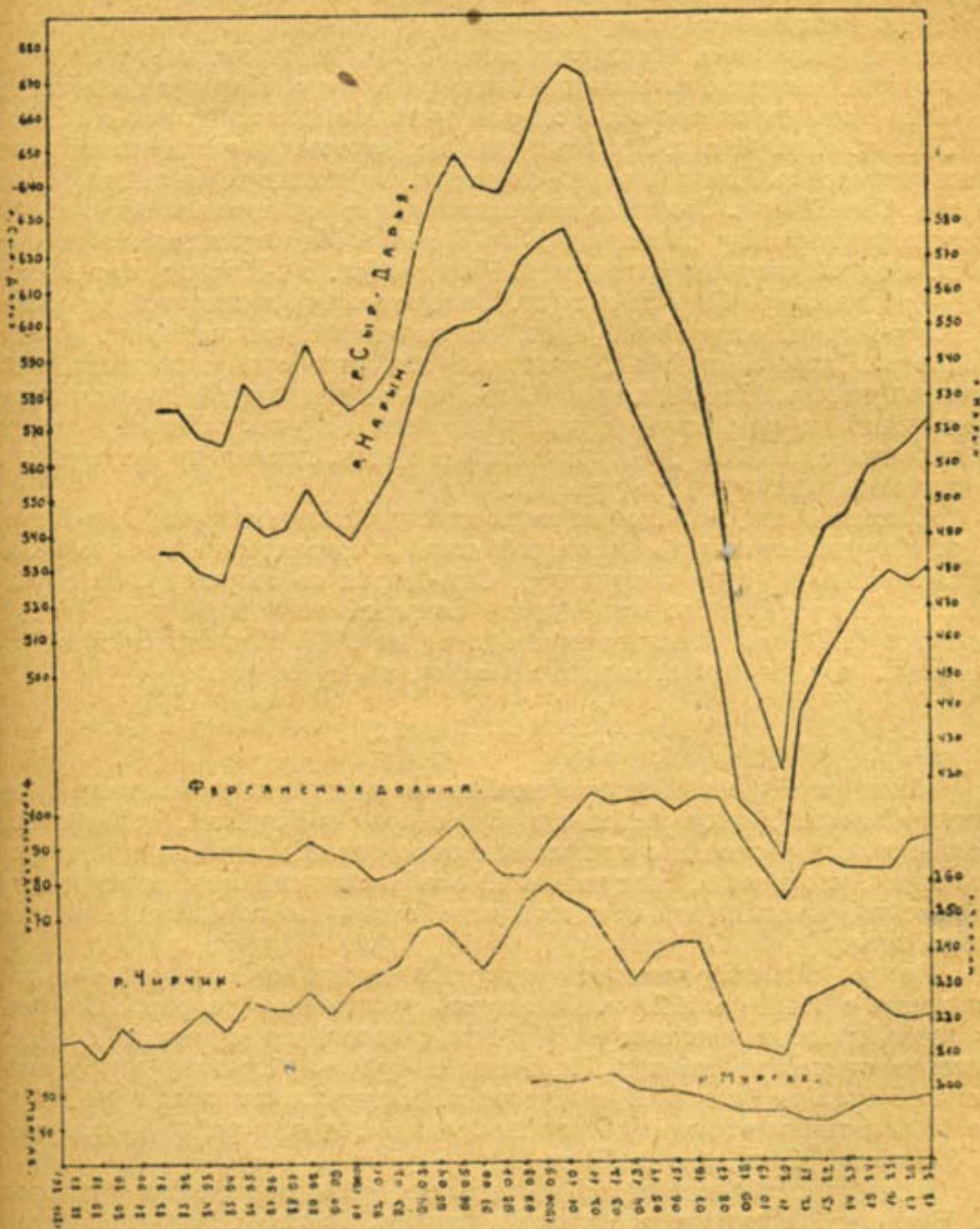
Максимум		Минимум		
Г о д	Число лет между 2 максимумами	Г о д	Число лет между 2 минимумами	
1886	6	1885	8	Следовательно, в среднем частные максимумы повторяются через каждые 6 лет, минимумы 7 лет, при чем эти промежутки времени меняются от 5 до 10 лет.
1892		1893		
1898	5	1899	7	
1903	6	1906	5	
1909	8	1911	6	
1914	7	1917	10	
1921		1927		

На графике десятилетних средних упомянутая выше тенденция к периодичности выявляется еще более отчетливо. Десятилетия до 1892/1901 г. включительно характеризуются расходами ниже многолетних средних расходов, десятилетия с 1893—1902 г. по 1907—16 г. имеют расходы выше средних; дальше снова наступает период десятилетий с пониженными расходами. Максимальный расход падает на

<sup>1)</sup> Как мы увидим ниже, коэффициент корреляции между уровнями Аму-Дарьи за летнее полугодие и температурами того же периода довольно велик и имеет отрицательный знак. Другими словами, в годы многоводные, а следовательно, и обильные атмосферными осадками летние температуры будут пониженными, в засушливые годы они, напротив, — повышены. Это обстоятельство с одной стороны способствует накоплению снежных масс в области питания ледников в годы многоводия, что увеличивает интенсивность наступания ледников, а с другой стороны в годы засушливые, когда это наступание выявляется, эффект этого наступания уменьшается вследствие усиленного таяния, благодаря повышенным температурам.

десятилетие 1901—1910 и равен  $675 \text{ м}^3/\text{с}$ , минимальный на десятилетие 1911—20 и равен  $472 \text{ м}^3/\text{с}$ <sup>1)</sup>. Что же касается изменчивости расходов, то она характеризуется следующими данными. Максимальный

График десятилетних средних расходов ( $\text{м}^3/\text{с}$ ).



<sup>1)</sup> Эти данные позволяют, между прочим, отметить совершенно недостаточность десятилетних наблюдений для определения истинных средних расходов, т. к. отношение расходов за максимальное и минимальное десятилетия равно 1,43, т. е. расходы за максимальное десятилетие на 43% больше расходов минимального десятилетия.



средний годовой расход наблюдался в 1910/11 г. и равен  $1052 \text{ mt}^3/\text{sc}$ , минимальный в 1916/17 и составляет  $295 \text{ mt}^3/\text{sc}$ , иначе говоря, максимальный расход в 3,57 раза превышает минимальный годовой.

Расходы р. Нарына (ст. Уч-Курганская) имеются за 1901 г., 1904—1918 и 1926—27 гг. Так как расходы р. Нарына и р. Сыр-Дарьи отлично связываются между собой (коэффициент корреляции между годовыми расходами обеих рек равен 0,94), то, пользуясь уравнением регрессии, нетрудно интерполировать расходы р. Нарына по расходам р. Сыр-Дарьи и таким образом получить данные за время с 1882 по 1927 г., т.-е. за 46 лет. Графики средних годовых и средних десятилетних расходов р. Нарына очень сходны с соответствующими графиками для р. Сыр-Дарьи. Это сходство, также как и большое значение коэфф. корреляции между расходами Сыр-Дарьи и Нарына вполне понятны, т. к. с одной стороны расходы р. Нарына (ст. Уч-Курган) составляют 85% расходов р. Сыр-Дарьи (ст. Запорожская), а с другой — расходы р. Сыр-Дарьи, отнесенные к ст. Запорожской, состоятся из расходов р. Нарына (ст. Уч-Курганская) плюс то количество воды, которое получает р. Нарын, а затем Сыр-Дарья в виде надземного и подземного стока со стороны Ферганской долины на участке между станциями Запорожской и Уч-Курганской и минус потери на испарение и фильтрацию на этом же участке.

Отсюда очевидно, что разности между расходами реки Сыр-Дарьи и р. Нарына смогут до некоторой степени характеризовать то количество воды, которое получает р. Сыр-Дарья со стороны Ферганской долины. Эти разности отличаются большой изменчивостью. Максимальное значение разности приходится на 1910 г. и равно  $165 \text{ mt}^3/\text{sc}$ , минимальное на 1901 г. и равно  $9 \text{ mt}^3/\text{sc}$ , таким образом

$$\frac{Q_{\max}}{Q_{\min}} = \frac{165}{9} = 18,3$$

На приведенном выше графике кроме расходов р. Нарына нанесены разности между расходами Сыр-Дарьи и Нарына. График разностей в общем сходен с графиками расходов обеих рек с тем только отличием, что в годы, следующие за особо засушливыми, эти разности несколько уменьшены, в годы после особо многоводных наоборот увеличены.

По р. Чирчику данные непосредственных наблюдений имеются за время с 1901 по 1927 г. Пользуясь уравнением регрессии, связывающим годовые расходы р. Чирчика с годовыми суммами осадков метеорологических станций Ташкента и Аулиэ-Ата, можно интерполировать средние годовые расходы р. Чирчика за время с 1877 г. по 1900 и таким образом получить средние годовые расходы за время с 1877 г. по 1927 г., т.-е. за 51 год.

Для характеристики изменчивости средних годовых расходов р. Чирчика приводим следующие данные. Средний годовой расход за 51 г. равен  $226 \text{ mt}^3/\text{sc}$ , максимальный годовой расход  $360 \text{ mt}^3/\text{sc}$ , минимальный  $136 \text{ mt}^3/\text{sc}$ , отношение  $\frac{Q_{\max}}{Q_{\min}} = 2,65$ , средняя квадратичная

арифметической середины  $=51 \text{ mt}^3/\text{sc}$ , отношение средней квадратичной к среднему расходу  $=0,23$  (23%).

Рассматривая графики годовых и десятилетних средних расходов р. Чирчика, также можно подметить некоторую тенденцию к периодичности. Так напр., отдельные частные максимумы и минимумы наблюдались в следующие годы:

Максимум		Минимум	
Г о д	Число лет между 2 макс.	Г о д	Число лет между 2 мин.
1886	6	1887	7
1892	5	1894	5
1896	6	1899	7
1902	6	1906	5
1908	6	1911	6
1914	7	1917	10
1921		1927	
ср.	6	ср.	6

Таким образом в среднем через каждые 6 лет повторяются частные максимумы и минимумы. Если обратиться к графику десятилетних средних, то мы увидим, что и в этом случае максимум и минимум десятилетия отделяются друг от друга, примерно, на 6 лет. Кроме того, за десятилетие 1891—1900 г. наблюдаются пониженные расходы (меньше  $226 \text{ mt}^3/\text{sc}$ ) и, начиная с этого десятилетия по десятилетие 1908—1917 г., повышенные расходы (больше  $226 \text{ mt}^3/\text{sc}$ ), а затем снова десятилетние средние становятся меньше многолетней средней.

Данные о расходах р. Мургаба (ст. Казыклы-Бент) имеются всего за 29 лет с 1898/99 г. по 1926/27 г. У этой реки также определенным образом можно подметить тенденцию к периодичности. Действительно, частные максимумы и минимумы и здесь наблюдаются в следующие годы:

Максимум		Минимум		Максимум		Минимум	
Г о д	Число лет между 2 макс.	Г о д	Число лет между 2 мин.	Г о д	Число лет между 2 макс.	Г о д	Число лет между 2 мин.
1900	3	1902	3	1915	5	1917	4
1903	4	1905	4	1920	4	1921	6
1907	4	1909	4	1924	—	1927	—
1911	—	1913	—	—	—	—	—
—	—	—	—	ср.	4	ср.	4

Следовательно, в среднем частные максимумы и минимумы наблюдаются через промежутки времени в 4 года. График десятилетних средних характеризуется также отчетливо выраженными эпохами пониженных и повышенных расходов. Что касается изменчивости, то она характеризуется следующими данными. Средний годовой расход р. Мургаба равн.  $49 \text{ mt}^3/\text{sec}$  (29 лет).

$$Q_{\max} = 82 \text{ mt}^3/\text{sec}, Q_{\min} = 22 \text{ mt}^3/\text{sec}, \frac{Q_{\max}}{Q_{\min}} = 3,73, \text{ средняя квадратичная арифметической середины} = \sigma_Q = 15 \text{ mt}^3/\text{sec}.$$

$$\text{Отношение } \frac{\sigma_Q}{Q} = 0,30$$

Если выбрать из вычисленных десятилетних средних для различных рек десятилетия, в которые эти средние достигали максимальных и минимальных значений, то получится очень интересная табличка.

Название реки	Максимум	Минимум
Аму-Дарья . . . . .	1897—1906	1909—1919
Чирчик . . . . .	1900—1909	1911—1920
Сыр-Дарья . . . . .	1901—1910	1911—1920
Нарын . . . . .	1901—1910	1911—1920
Ферганская долина <sup>1)</sup> . . . . .	1902—1911	1911—1920
Мургаб . . . . .	1903—1912	1913—1922

<sup>1)</sup> Под Ферганской долиной условно приняты разности между годовыми расходами р. Сыр-Дарьи (ст. Запорожская) и р. Нарын (ст. Уч-Курганская).

Из приведенных данных видно, что р. Аму-Дарья раньше других рек дает как максимальные, так и минимальные значения десятилетних средних, затем эти предельные значения наступают в бассейне р. Сыр-Дарьи и позже всех проявляются на р. Мургаб.

### Колебания водоносности рек Средней Азии в течение одного года.

#### I.

Начало гидрологического года для различных рек Средней Азии, вероятнее всего, различно и принадлежит к числу индивидуальных особенностей каждого речного бассейна. В дальнейшем мы условно, следуя примеру Э. Ольдекопа, примем за начало гидрологического года 1-е октября. Начиная, примерно, с этого момента в речных бассейнах Средней Азии начинается процесс накопления влаги, как следствие того обстоятельства, что приход влаги, выпадающей в виде атмосферных осадков, становится больше расхода, т.-е. стока и испарения. Этот процесс накопления продолжается до тех пор, пока под влиянием «теплового воздействия», понимая под этим термином сово-

купное действие солнечной радиации и температурных свойств воздуха, не начинается процесс таяния настолько интенсивно, что расход влаги в бассейне превышает приход ее. Период времени между началом процесса накопления и началом более или менее интенсивного расходования, примерно, совпадает с промежутком времени от I/X до I/IV и известен в Средней Азии под именем невегетационного периода. В течение этого периода расходы и уровни рек Средней Азии характеризуются малой изменчивостью, и питание рек происходит за счет грунтовых вод и атмосферных осадков, выпадающих в бассейне. Следует при этом заметить, что степень влияния того или иного фактора на режим рек зимнего полугодия определяется в значительной мере индивидуальными свойствами каждого речного бассейна. Так как данные непосредственных наблюдений над грунтовыми водами в Средней Азии за более или менее длительный промежуток времени отсутствуют вовсе, то для характеристики влияния запасов грунтовых вод на водоносность рек в зимний период приходится прибегать к косвенным методам. Повидимому, не будет уклонением от истины предположение о том, что обильные водой летние полугодия обуславливают накопление запасов грунтовых вод в речных бассейнах, засушливые же, напротив, истощают их. В таком случае, если действительно существует связь между зимними расходами и запасами грунтовых вод, то коэффициенты корреляции между зимними расходами и расходами предшествующего летнего полугодия должны быть достаточно велики. Были вычислены коэффициенты корреляции между зимними расходами, осадками за зимнее полугодие, расходами предшествующего и последующего летнего полугодия. Результаты получились следующие:

КОЭФФИЦИЕНТ КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ:

Название рек	Расходами и осадками за зимнее полугодие	Расходами за летнее полугодие и расх. последующего зимнего	Расходами зимнего и летнего полугод. одного года	Летними расходами и зимними осадками
Мургаб . . . . .	0,35	0,79	0,09	0,55
Чирчик . . . . .	0,76	0,46	0,76	0,83
Нарын . . . . .	0,51	0,80	0,81	0,80
Сыр-Дарья . . . . .	0,49	0,81	0,68	0,82
Аму-Дарья . . . . .	—	0,60	0,67	—
Исфайрам-Сай . . . . .	0,04	0,16	0,41	0,55
Зеравшан . . . . .	0,16	0,62	0,27	0,59

Примечание: Под зимним полугодием понимается промежуток времени от I/X до I/IV, под летним от I/IV до I/X.

Коэффициенты корреляции между зимними расходами и зимними осадками только для Чирчика, Нарына и Сыр-Дарьи выявляют определенную связь между этими элементами, для всех остальных рек они

относительно незначительны. Для всех рек, за исключением р. Чирчика, коэффициенты корреляции между зимними расходами и расходами предшествующего летнего полугодия больше соответствующих коэффициентов корреляции между зимними расходами и атмосферными осадками зимнего полугодия. Кроме того для рек Чирчика, Нарына, Аму-Дарьи и Исфайрам-Сая коэффициенты корреляции между расходами зимнего полугодия и последующего летнего больше коэфф. корреляции между зимними расходами и расходами предшествующего летнего полугодия. Исключение составляют реки Мургаб, Сыр-Дарья и Зеравшан.

Так как расходы летнего полугодия, как это видно из дальнейшего, зависят, главным образом, от сумм атмосферных осадков зимнего периода, то наличие отчетливо выраженной коррелятивной связи между расходами зимнего и последующего летнего полугодия указывает на существование определенной зависимости между атмосферными осадками и зимними расходами. Для рек же Мургаба, Сыр-Дарьи и Зеравшана, повидимому, гораздо большую роль, чем для других рек, играет грунтовое питание. Действительно, для этих рек максимальные значения принимают коэффициенты корреляции между зимними расходами и расходами предыдущего летнего полугодия. Р. Мургаб принадлежит, как уже указывалось, к снеговому типу. Сезонные запасы влаги в твердом виде в бассейне этой реки исчерпываются довольно быстро, и уже в июне на сцену выступает исключительно грунтовое питание. Отсюда и понятна вся роль грунтовых вод в жизни этой реки.

Расходы р. Сыр-Дарьи у ст. Запорожской, как уже указывалось выше, состояются из того количества воды, которое приносит р. Нарын и сбрасывает Ферганская долина, как в виде надземных, так и подземных вод. Выше же указывалось, что эти ферганские воды обычно запаздывают в своем ходе. Отсюда понятно, что коэффициент корреляции между зимними расходами и расходами предшествующего летнего полугодия принимает максимальное значение.

Бассейн р. Зеравшана известен обилием грунтовых вод. Между прочим хорошо известен следующий факт. Ежегодно весной, когда при чистке ирригационных каналов их головные сооружения закрываются и таким образом надземного прихода в них нет, несмотря на это, на некотором расстоянии от головных сооружений каналы в значительной мере заполняются водой, при чем заполнение это происходит вне всякого сомнения за счет грунтовых вод.

Таким образом и для р. Зеравшана становится понятным то обстоятельство, что коэффициент корреляции между зимними расходами и расходами предшествующего летнего полугодия в приведенной выше табличке достигает максимального значения.

В годы, следующие за исключительно засушливыми, влияние предыдущего летнего полугодия на расходы последующего зимнего полугодия выступает очень отчетливо. Так, напр., для р. Чирчика в 1918 г., следующем за одним из самых маловодных лет, зимние

расходы меньше зимних расходов 1917 г., в то время, как для летних расходов соотношение обратное.

	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	X
1916/1917	96	79	71	63	68	72	130	321	233	198	183	117
1917/1918	82	66	57	53	55	68	185	525	630	346	234	141

То же самое наблюдается и для двух смежных лет 1926/27 и 1927/28 г.

	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1926/1927	96	77	69	62	58	63	182	319	286	223	164	101
1927/1928	74	66	66	58	63	84	254	616	865	572	294	157

Аналогичную картину имеем и для рек Сыр-Дарьи и Зеравшана:

Р. Сыр-Дарья.

Расходы  $mt^3/sec.$

	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1916/1917	295	289	273	236	250	247	220	393	272	268	516	285
1917/1918	234	216	202	218	214	231	238	776	810	500	439	328

Р. Зеравшан.

Расходы  $mt^3/sec.$

	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1926/1927	354	319	300	264	298	264	306	603	476	503	413	286
1927/1928 <sup>1)</sup>	270	273	282	262	248	297	495	1233	1406	1119	658	143

Таких примеров можно привести большое количество для различных рек. Все эти примеры показывают, что после исключительно засушливых лет запасы грунтовых вод бывают крайне истощены, и это обстоятельство сказывается на режиме рек последующего зимнего полугодия. Напротив, после многоводных лет запасы грунтовых вод увеличиваются, и это увеличение определенным образом влияет на водоносность рек в последующем зимнем полугодии. Что же касается роли зимних температур, то она, повидимому, относительно ничтожна. Коэффициенты корреляции между расходами зимнего полугодия и температурами воздуха того же полугодия почти все отрицательны

<sup>1)</sup> За 1927/28 г. данные взяты из Декадных бюллетеней Института Водн. Хоз. Ср. Азии.

и достигают небольших величин. Таким образом, повидимому, расходы зимнего периода зависят главным образом от запасов грунтовых вод в бассейне и количества атмосферных осадков, выпавших в этом же полугодии. Между расходами и температурами воздуха намечается слабо выраженная зависимость обратного порядка.

## II.

Для того, чтобы проанализировать режим рек Средней Азии за летнее полугодие, попробуем представить себе физическую сущность того процесса, который происходит в речных бассейнах в это время. Представим себе, что к началу процессов таяния в каком-либо речном бассейне имеется определенная площадь снегового покрова, которую мы обозначим через  $F$ . Далее, количество тепла, получаемое единицей поверхности в единицу времени, обозначим через  $\tau$ , и питание за счет грунтовых вод и осадков данного времени через  $\beta$ . В таком случае количество воды, полученное вследствие таяния со всего бассейна, может быть равно  $F\tau$ , а расход  $Q = \alpha F\tau + \beta$ , где  $F$  и  $\tau$  представляют собой величины, охарактеризованные выше,  $\alpha$  — некоторый коэффициент, характерный для данного речного бассейна и имеющий климатическое и почвенно-геологическое значение. Суммарный расход за некоторый промежуток времени может быть получен по формуле  $\Sigma Q = \alpha \Sigma F\tau + \Sigma \beta$ .

Если представить себе, что  $F = 0$ , т.-е. запасов влаги в твердом виде нет вовсе, или  $\tau = 0$ , т.-е. вовсе нет теплового воздействия, а следовательно и отсутствует процесс таяния, то в обоих случаях  $Q = \Sigma \beta$ , т.-е. расход реки представляет собой некоторую функцию от запаса грунтовых вод и атмосферных осадков данного промежутка времени, что вполне совпадает с действительностью. С другой стороны анализ этой функции может вполне, как мне кажется, удовлетворительно объяснить особенности графика расходов различных рек Средней Азии за летнее полугодие в зависимости от принадлежности их к тому или иному типу. В самом деле, величина  $F$ , состоящая из суммы остатков влаги в твердом виде от предшествующего года и выпавшего снега данного года, в течение года меняется следующим образом. С начала невегетационного периода  $F$  непрерывно возрастает, достигая максимального значения в тот момент, когда под влиянием «теплового воздействия» начинается более или менее интенсивное таяние, или, точнее выражаясь, тогда, когда расход за счет таяния начинает превышать приход за счет выпадающих осадков. С этого момента, повидимому, довольно близкого к началу вегетационного периода,  $F$  непрерывно уменьшается. Скорость этого уменьшения зависит от максимального значения  $F$  и величины  $\tau$ . Минимум значения  $F$  падает для рек различного типа на разное время. Для рек снегового типа он наступает раньше всего, для рек ледникового типа он приближается к началу невегетационного периода. Годовой ход  $\tau$ , вероятнее всего, сходен с годовым ходом температуры воздуха в данном бассейне, при чем для Средней Азии максимум  $\tau$ , повидимому, падает на июль, а иногда и на август месяц.

Величина  $\beta$ , как уже указывалось, в условиях Средней Азии меняется в течение года относительно незначительно, в смысле влияния ее на величину расхода  $Q$ <sup>1)</sup>.

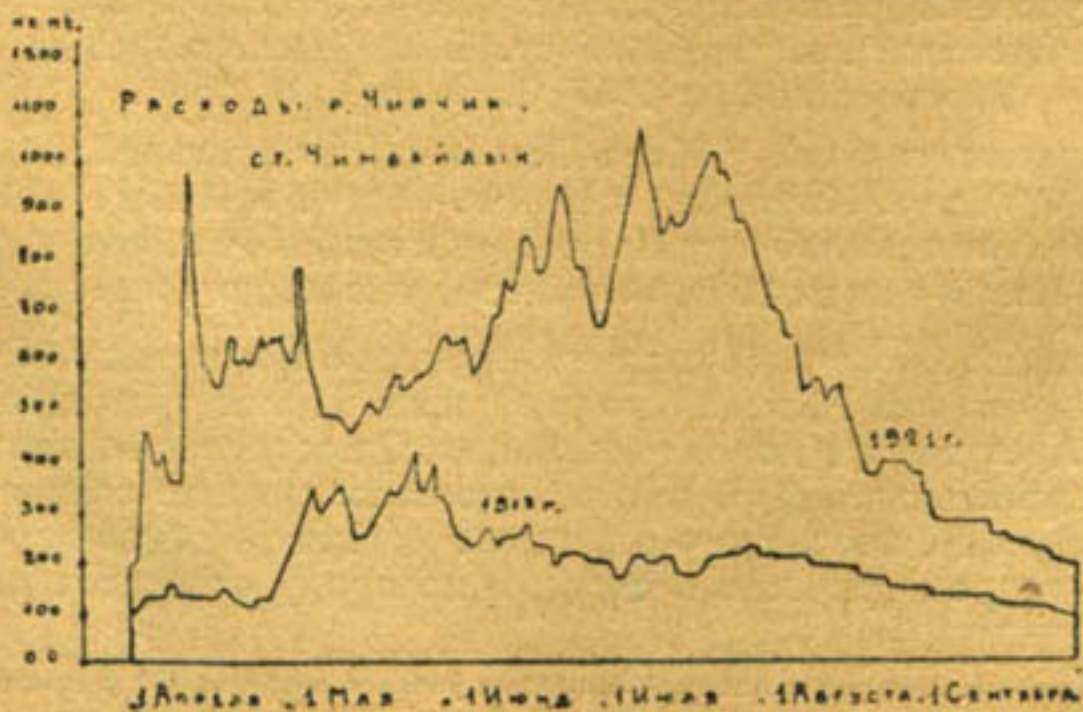
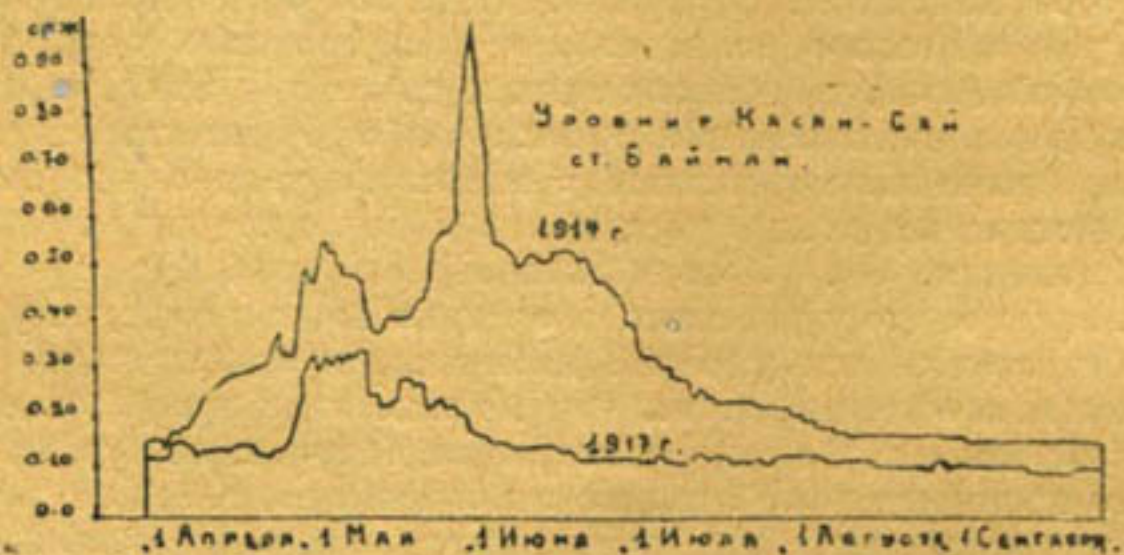
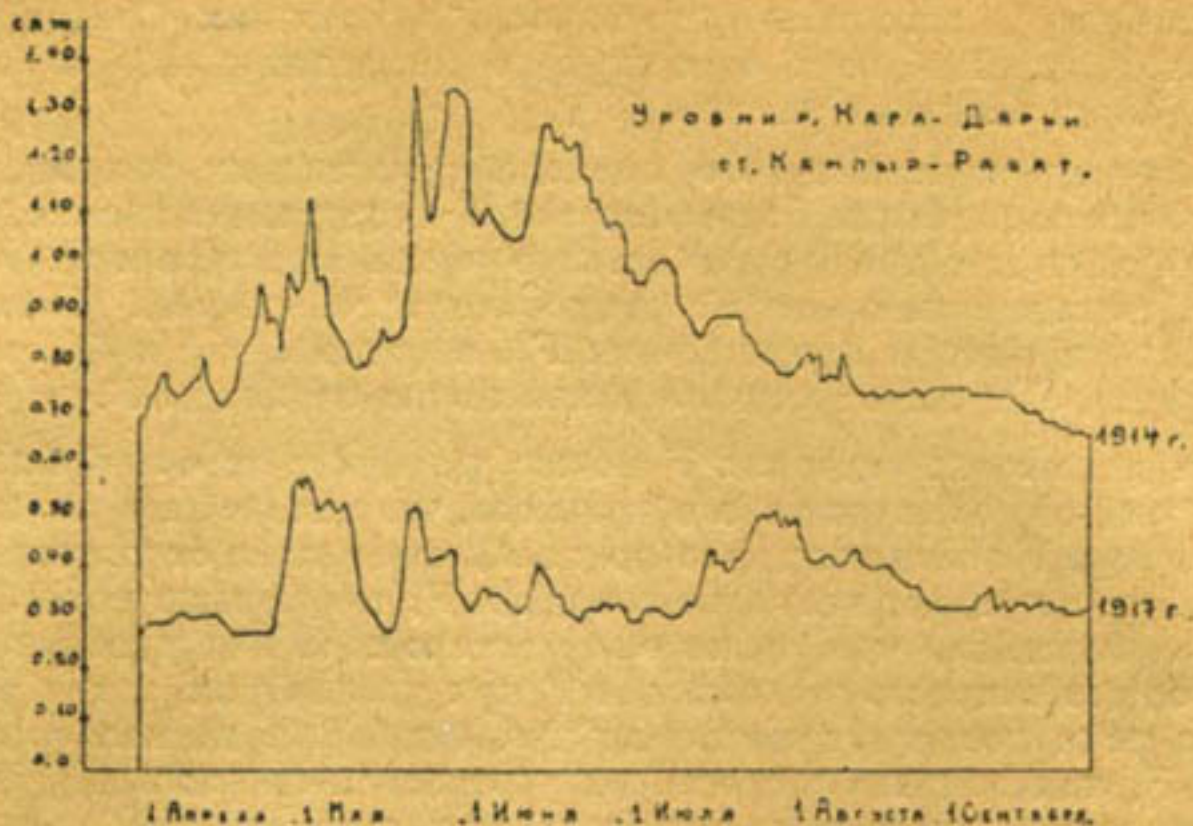
К началу вегетационного периода  $\tau$  достигает тех значений, при которых начинается более или менее интенсивное таяние, и расход реки начинает увеличиваться. Это увеличение продолжается до тех пор, пока произведение  $F\tau$  не достигнет максимума. Момент наступления максимума произведения  $F\tau$ , а стало быть и  $Q$ , расхода воды в реке, зависит от характера изменения величины  $F$ .

При некоторых условиях  $F$  может уменьшаться очень быстро и в конце концов достигнет такого значения, что дальнейшее увеличение произведения  $F\tau$  сделается невозможным, независимо от увеличения  $\tau$ . Чем меньше по своему значению величина  $F$ , чем меньше водосборная площадь бассейна, чем ниже она расположена над уровнем моря, и чем больше скорость уменьшения  $F$  при увеличении  $\tau$ , тем раньше расходы реки достигнут максимальных значений, и, наоборот, чем больше  $F$ , чем меньше скорость ее убывания, чем больше площадь бассейна, чем выше она расположена над уровнем моря, тем позже наступит этот максимум. Отсюда понятны все особенности графиков расходов рек снегового, ледникового и смешанного типа питания. У рек Средней Азии, принадлежащих к снеговому типу, величина  $F$  относительно незначительна или, правильнее, она уменьшается слишком быстро под влиянием нарастания  $\tau$  и достигает довольно рано того значения, когда дальнейшее увеличение  $\tau$  не может вызвать увеличения произведения  $F\tau$ . Отсюда становится совершенно понятным то обстоятельство, что у рек снегового типа обычно в годы засушливые максимум расходов или уровней наблюдается значительно раньше, чем в годы многоводные, т. к., чем меньше величина  $F$ , тем скорее наступит тот момент, когда, несмотря на дальнейшее увеличение  $\tau$ , нарастание произведения  $F\tau$  станет невозможным, т.-е. как раз наступит момент максимума. Для иллюстрации приводим графики ежедневных уровней рек: Кара-Дарьи (ст. Кампыр-Рават), р. Касансай (п. Баймакский), р. Чирчика (ст. Чимбайлыкская) за летние полугодия 1914 (многоводный) и 1917 (засушливый) года.

Максимумы уровней у Кара-Дарьи наблюдались в 1914 г.—31/V, в 1917 г.—2/V, у р. Касансай в 1914 г.—31/V, в 1917 г.—6/V. Таким образом, в засушливые годы у Кара-Дарьи гребень паводка наблюдался на 29, а у Касан-сая на 25 дней раньше, чем в многоводный 1914 год.

Реки ледникового типа характеризуются относительно более устойчивыми значениями  $F$ , медленно уменьшающимися в течение летнего периода. В результате момент максимума  $Q$  наступает несколько позднее максимума значений  $\tau$ , при чем это запаздывание зависит от промежутка времени, потребного для прохождения талой воды от районов таяния до гидрометрического поста, к которому относится расход.

<sup>1)</sup> Следует оговорить, что сказанное справедливо только для рек с достаточно большими площадями бассейнов. Для рек с малыми бассейнами  $\beta$  может довольно резко меняться.



Таким образом, в грубом приближении график расходов рек за летнее полугодие отражает изменения температуры воздуха в бассейне реки ледникового типа <sup>1)</sup>).

Реки смешанного типа питания, к которому принадлежит подавляющее большинство рек Средней Азии, характеризуются годовым графиком расходов, занимающим промежуточное положение между реками снегового и ледникового типа питания. Момент наступления максимума перемещается в зависимости от близости той или иной реки к снеговому или ледниковому типу. Если преобладает снеговое питание—максимум более ранний, как следствие быстрого уменьшения  $F$ , если преобладает ледниковое, максимум более поздний и даже совпадающий с максимальным значением  $\tau$ .

В качестве примера можно привести две реки, обе принадлежащих к смешанному типу, отличных друг от друга в отношении роли ледникового и снегового питания. Р. р. Чирчик и Аму-Дарья, действительно, обе принадлежат к типу рек смешанного питания, однако, в то время, как для Аму-Дарьи ледниковое питание имеет существенное значение, для Чирчика оно отступает на второй план. Как следствие различия роли ледникового питания для Чирчика максимум расходов падает на июнь, для Аму-Дарьи—на июль и даже на август, при чем, чем более засушлив данный год, тем резче выявляется ледниковая волна, и тем позднее наступает максимум расходов.

Однако, надлежит оговориться, что нарисованная выше картина процессов расходования влаги в речных бассейнах в значительной мере схематична. В действительности дело обстоит много сложнее. Прежде всего каждая река представляет собой довольно сложный организм, жизнь которого складывается из ряда процессов, развертывающихся в отдельных частях бассейна в значительной мере самостоятельно.

Налагающиеся друг на друга процессы расходования влаги в отдельных частях бассейна дают в итоге очень сложный график расходов всей реки, при чем сложность эта бывает настолько велика, что детальный анализ этого графика становится крайне затруднительным. С другой стороны, далеко не вся часть запасов влаги в твердом виде в бассейне реки сразу подвергается «тепловому воздействию». Это действие температурных условий и солнечной радиации первоначально охватывает только нижнюю часть и затем постепенно передвигается к наиболее возвышенным областям бассейна. Вследствие такого характера изменения  $\tau$  годовой ход  $\tau$  может быть далеко не параллелен годовому ходу температур в речном бассейне.

Таким образом, количественная характеристика как величины  $F$ , так и  $\tau$  становится весьма затруднительной. Поэтому, быть может было бы правильнее видоизменить приведенную выше формулу, придав ей вид:  $Q = \Sigma \alpha F \tau + \Sigma \beta$ , где знак  $\Sigma$  обозначает сумму, охватывающую произведения  $\alpha F \tau$ , взятые для отдельных частей речного бассейна в случае его сложности.

<sup>1)</sup> В действительности, как это будет видно из дальнейшего, дело обстоит несколько сложнее, т. к., в сущности говоря, рек чистого ледникового типа не существует вовсе.

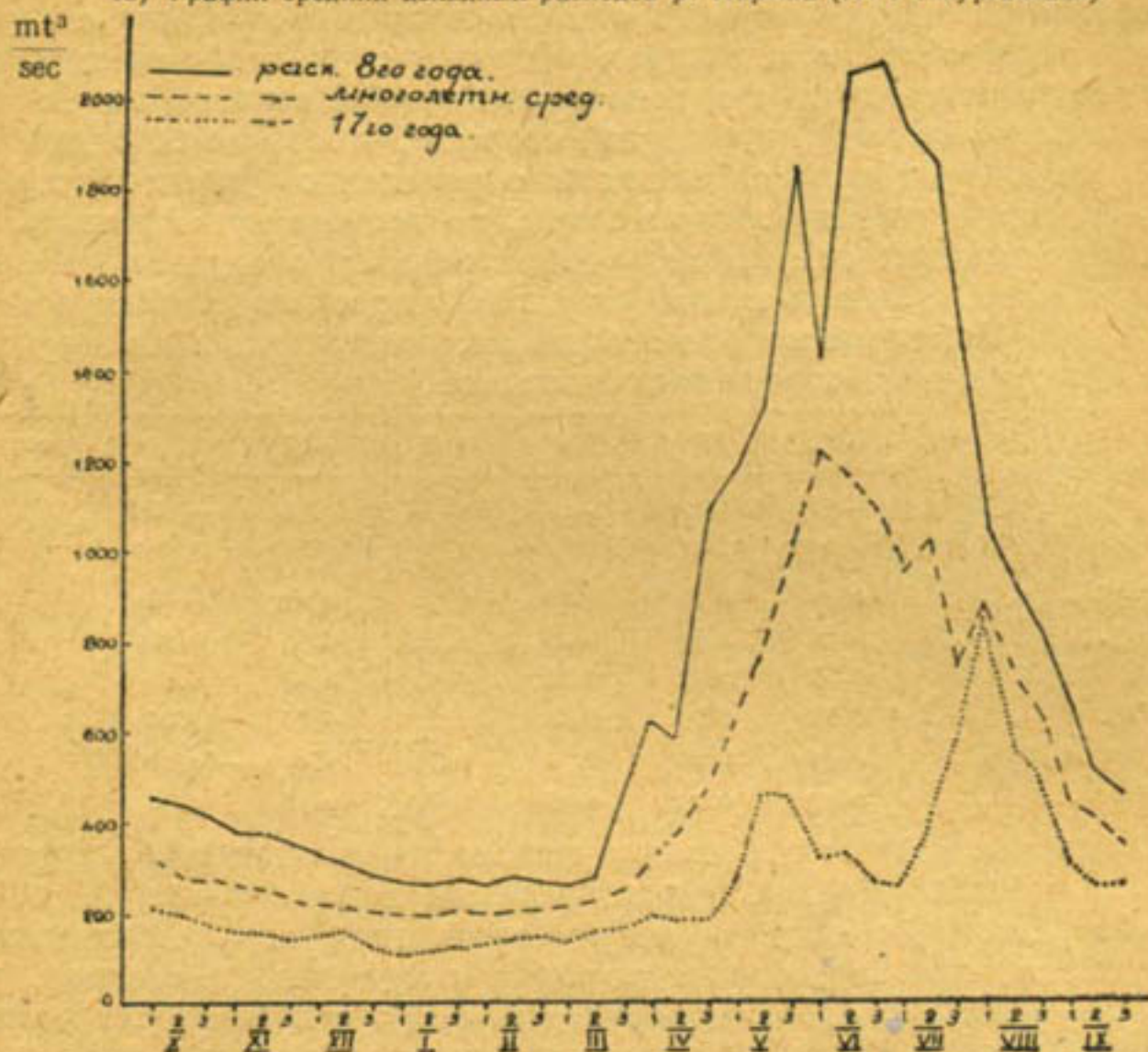
В таком случае становится понятным и то обстоятельство, что реки Средней Азии различного типа имеют различное количество «паводковых волн», и что эти волны существенно отличаются друг от друга в особо засушливые и особо многоводные годы. Как правило, реки снегового типа характеризуются одной весенней волной паводка. Реки ледникового и смешанного течения, а иногда и четырьмя паводковыми волнами.

Существование отдельных паводковых волн объясняется, по моему мнению, тем обстоятельством, что отдельные части бассейна в разное время вступают в фазу таяния и в то же время характеризуются различными значениями величины  $F$ . Запасы влаги, участвующие в образовании первой весенней волны, несравненно меньше всех остальных запасов. Вследствие этого весенняя волна не так интенсивна, как последующие летние. Соотношение между летними паводковыми волнами зависит от состояния величины  $F$  для волн «сезонного» и «ледникового» происхождения. В годы особо засушливые сезонные запасы значительно меньше запасов вечного льда и снега. Поэтому в эти годы паводковая волна ледникового происхождения обычно превосходит волну сезонного происхождения. В годы многоводные, напротив, волна «сезонного происхождения» настолько велика по сравнению с волной «ледникового» происхождения, что первая почти покрывает или точнее сливается со второй. Мало того, в засушливые годы вследствие того, что величина  $F$  в начале вегетационного периода характеризующая запасы влаги сезонного происхождения, относительно мала и вследствие этого очень быстро достигает того значения, при котором дальнейшее увеличение  $\tau$  не может вызвать увеличения  $F\tau$ , в эти годы паводковая волна сезонного происхождения должна наблюдаться значительно раньше, чем в годы многоводные. Вследствие этого должен увеличиться промежуток времени между волнами «сезонного» и «ледникового» происхождения. В годы многоводные, напротив,  $F$  достигает больших значений, и моменты наступления максимума, как первой, так и второй волны запаздывают, и в результате для рек смешанного типа питания две последних волны сливаются вместе. Для иллюстрации приводим графики расходов реки Нарына за наиболее засушливый и наиболее многоводный годы.

На графиках декадных расходов реки Нарына за 1908 год (многоводный) и 1917 (засушливый) года отлично подтверждается справедливость всего сказанного. Действительно, в 1917 засушливом году резко отделены друг от друга два периода с начала июня по вторую декаду июля, когда питание реки происходило за счет сезонных запасов влаги, и со второй декады июля до конца августа, когда питание происходило за счет таяния запасов вечного снега и ледников. В промежутке между гребнями двух паводковых волн расходы резко упали, достигнув всего  $253 \frac{m^3}{sec}$ . Расходы волны ледникового происхождения достигают больших значений, чем расходы волны сезонного порядка. Напротив, в 1908 г. на всем графике расходов летнего периода

отчетливо сказывается влияние больших запасов влаги сезонного происхождения. В этом году максимум расходов наблюдается 19-го

13) График средних декадных расходов р. Нарына (ст. Уч-Курганская).



июня и достигает  $2547 m^3/sec$ . Вторая волна сезонного происхождения слилась с ледниковой волной, и эту последнюю едва ли возможно выделить из общего графика расходов.

## II.

Реальное определение величины  $F$  связано с большими затруднениями.

В бассейнах рек снегового типа еще можно говорить об определении  $F$  при условии организации достаточно густой сети дождемерных или снегомерных пунктов. В бассейнах рек смешанного и ледникового типа точная количественная характеристика величины  $F$  представляет собой задачу крайне трудную. Не менее сложно обстоит дело и с количественной характеристикой  $\tau$ . Эта характеристика, теоретически вполне возможная и осуществимая, на практике также связана с большими затруднениями.

Однако, и в этом случае, подобно тому, как это было сделано выше, можно отказаться от пользования абсолютными значениями  $F$  и  $\tau$

и прибегнуть к некоторым условным индексам, использовав для этой цели данные отдельных метеорологических станций. Если принять во внимание то обстоятельство, что годовое количество воды в реках находится в тесной зависимости от количества атмосферных осадков, и что эта связь отлично иллюстрируется коррелятивной зависимостью между годовыми расходами и годовыми суммами осадков по показаниям отдельных станций, а с другой стороны, что расходы отдельных месяцев зависят от запасов влаги в определенной части бассейна, сохранившихся к началу этого месяца, то должна существовать отчетливо выраженная связь между расходами за отдельные месяцы и суммами осадков за весь предшествующий период по данным отдельных станций. Табличка коэф. корреляции, вычисленных для отдельных месяцев, вполне подтверждает сказанное.

Название реки	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Расходы
	X—III	X—IV	X—V	X—VI	X—VII	X—VIII	Сумма осадков
Мургаб . . . . .	0.40	0.46	0.49	0.58	0.03	0.80	
Чирчик . . . . .	0.73	0.74	0.83	0.82	0.75	0.80	
Нарын . . . . .	0.72	0.72	0.73	0.60	0.77	0.83	
Сыр-Дарья . . . . .	0.73	0.79	0.75	0.88	0.71	0.74	
Исфайрам-Сай . . . . .	0.39	0.64	0.74	0.70	0.01	-0.21	
Зеравшан . . . . .	0.24	0.25	0.48	0.57	0.38	-0.12	

Исключение составляют только некоторые месяцы рек Мургаба, Зеравшана и Исфайрам-Сая. Эти исключения можно, пожалуй, объяснить либо условиями питания (ледниковый тип), либо недостаточно удачно выбранными метеорологическими станциями, тем более, что для этих же рек коэффициент корреляции между годовыми расходами и суммами осадков за год также меньше, чем для остальных рек.

Кроме этого, если расходы отдельных месяцев находятся в определенной зависимости от количества атмосферных осадков, то, повидимому, должна существовать определенная связь между расходами смежных месяцев. В действительности, если вычислить коэффициенты корреляции между расходами смежных месяцев, то получается следующая таблица:

	X—XI	XI—XII	XII—I	I—II	II—III	III—IV	IV—V	V—VI	VI—VII	VII—VIII	VIII—IX	IX—X
Мургаб . . . . .	0,92	0,86	0,84	0,76	0,51	0,78	0,58	0,95	0,96	0,98	0,95	0,96
Чирчик . . . . .	0,74	0,90	0,96	0,95	0,70	0,76	0,66	0,87	0,68	0,93	0,91	0,81
Нарын . . . . .	0,99	0,98	0,98	0,98	0,96	0,74	0,71	0,70	0,72	0,85	0,80	0,90
Сыр-Дарья . . . . .	0,92	0,94	0,90	0,96	0,80	0,73	0,78	0,70	0,66	0,89	0,90	0,87
Исфайрам-Сай . . . . .	0,89	0,89	0,98	0,98	0,93	0,84	0,66	0,40	0,80	0,09	0,48	0,77
Зеравшан . . . . .	0,75	0,91	0,74	0,63	0,02	0,98	0,73	0,73	0,32	-0,18	0,30	0,70
Аму-Дарья . . . . .	0,77	0,75	0,58	0,66	0,70	0,78	0,66	0,74	0,67	0,69	0,73	0,33

Данные этой таблички вполне подтверждают высказанное выше предположение об определенной зависимости между расходами смежных месяцев и, быть может, было бы полезно ввести в употребление понятие о «гидрологической инерции» подобно тому, как существует понятие о метеорологической инерции, при чем под гидрологической инерцией можно было бы понимать способность рек сохранять устойчивость аномалий расходов рек от месяца к месяцу. В таком случае сами коэффициенты корреляции между расходами смежных месяцев служили бы индексами гидрологической инерции. Эти индексы были бы полезны в том отношении, что они давали бы представление не только об устойчивости гидрологических аномалий, но и служили бы в тоже время и характеристиками однородности условий питания реки в смежные месяцы. Чтобы убедиться в этом, остановимся на рассмотрении индексов для каждой реки в отдельности. Для р. Мургаба индексы эти достигают максимальных значений с (V—VI) по (I—II). В эти месяцы Мургаб, повидимому, питается, главным образом, за счет грунтовых вод и атмосферных осадков, выпадающих в эти же месяцы. Индекс II—III достигает минимума, т. к. уже в марте месяце выступают на сцену процессы таяния, которые почти отсутствуют в феврале. Индекс III—IV снова возрос, как следствие того, что питание реки в марте и апреле происходит за счет таяния сезонных запасов. Индекс IV—V снова уменьшился, т. к. уже в мае начинает преобладать грунтовое питание. То же самое в бассейне р. Чирчика: зимнее полугодие характеризуется повышенным индексом гидрологической инерции. Индексы II—III, III—IV и IV—V значительно понизились, вследствие того, что в марте и апреле обычно наблюдаются частые дожди, нередко ливневого порядка. Индекс V—VI снова повысился вследствие однородности питания этих двух месяцев за счет таяния сезонных запасов снега. Индекс VI—VII опять понижен, т. к. в июле в питании реки принимают участие ледники, вследствие чего и индекс VII—VIII опять увеличился и достиг до 0,93.

Индексы гидрологической инерции р. Нарына достигают почти 1 за время с (X—XI) по (II—III). В апреле месяце начинается таяние, и вследствие этого индекс III—IV уменьшился и достиг до 0,74. В дальнейшем он почти сохраняет свое постоянное значение, во всяком случае меньшее, чем для зимних месяцев. Это объясняется тем обстоятельством, что вплоть до июля питание реки происходит, повидимому, за счет сезонных запасов снега, расположенных на различной высоте и в различное время охватываемых таянием. Индекс для июля—августа снова увеличился до 0,85, т. к. в эти месяцы питание происходит за счет таяния ледников и вечных снегов, далее снова уменьшение до того момента, когда роль питания реки переходит к грунтовым водам.

Аналогичный характер носит годовой ход индексов гидрологической инерции и для р. Сыр-Дарьи. Несколько иначе обстоит дело с Исфайрам-Саем. Здесь мы имеем устойчивые коэффициенты корреляции между расходами, начиная с месяцев X—XI и кончая III—IV.

Индексы IV—V и V—VI уже значительно меньше, т. к. в апреле уже начинается увеличение расходов за счет таяния сезонных запасов снега: индекс VI—VII снова увеличился и достиг до 0,80; индекс для месяцев VII—VIII равен всего 0,09, т.-е. между расходами июля и августа связь отсутствует. Если обратиться к табличке с коэффициентами корреляции между расходами отдельных месяцев и осадками за предшествующий период, то мы увидим, что для августа месяца этот коэффициент резко упал до 0,01, т.-е. расходы августа не связаны с осадками предшествующего периода данного года, тогда как для VII этот коэффициент корреляции равен 0,70. В сентябре месяце уже главная роль принадлежит грунтовым водам, почему индекс гидрологической инерции незначителен по своей величине.

Аналогичную картину мы имеем и для реки Зеравшана.

Аму-Дарья со своим грандиозным и сложным по строению бассейном характеризуется крайне устойчивыми индексами гидрологической инерции. Эта устойчивость, как мне кажется, и объясняется именно сложностью бассейна и постепенным суммированием гидрологических процессов, происходящих в отдельных частях бассейна этой самой большой реки Средней Азии в разное время.

Если обратиться теперь к решению вопроса о значении температуры воздуха для расходов отдельных месяцев, то коэффициенты корреляции между этими элементами, как это видно из ниже помещенной таблички, достигают незначительных величин, за исключением августа для р. Зеравшана.

Название реки	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Мургаб . . . . .	-0,45	-0,39	-0,00	-0,31	-0,26	-0,34
Чирчик . . . . .	0,25	0,26	0,08	-0,00	-0,17	-0,07
Нарын . . . . .	0,13	-0,19	-0,14	-0,04	-0,03	0,24
Сыр-Дарья . . . . .	0,47	-0,32	-0,17	-0,08	-0,16	-0,02
Исфайрам-Сай . . . . .	0,44	0,17	0,11	0,25	0,15	0,22
Зеравшан . . . . .	0,08	0,21	0,06	-0,11	0,62	0,18
Аму-Дарья . . . . .	-0,29	-0,10	-0,31	-0,45	-0,30	-0,27

На первый взгляд создается противоречие между формулой, предложенной выше, характеризующей расход за месяц, как функцию от произведения  $F\tau$ , и данными таблички коэффициентов корреляции между расходами и температурами отдельных месяцев. Однако, по моему мнению, противоречие это только кажущееся. Действительно, прежде всего средние температуры воздуха по данным одной или нескольких метеорологических станций не смогут с достаточной степенью точности заменить величину  $\tau$ , т. к. области, переживающие процесс таяния, не остаются в течение одного месяца постоянными, а перемещаются по направлению к верхней части бассейна. Кроме того, в отдельные годы в зависимости от обилия запасов влаги в твердом виде в речном бассейне в данном месяце область таяния также не остается постоянной. Все это, вместе взятое, лишает, строго говоря, по существу

дела, возможности заменить величину теплового воздействия за данный месяц температурами воздуха по данным ограниченного числа метеорологических станций. Для точного определения влияния температуры на расходы рек за отдельные месяцы необходимо зональное распределение метеорологических станций в каждом речном бассейне<sup>1</sup>). Если кроме того остановиться на величине изменчивости как сумм атмосферных осадков, так и температур воздуха, то станет вполне ясным различие между коэфф. корреляции для расходов и осадков и расходов и температур отдельных месяцев. Суммы атмосферных осадков характеризуются гораздо большей изменчивостью, чем температуры; вследствие этого, естественно, что коэффициент корреляции между расходами и атмосферными осадками в подавляющем большинстве случаев больше коэффициента корреляции между расходами и температурами, что, конечно, вовсе не противоречит формуле  $Q = \alpha F\tau + \beta$ . Влияние изменчивости  $F$  на величину коэффициента корреляции между расходами и температурами одного и того же промежутка времени нетрудно обнаружить следующим образом. Для рек ледникового типа величина  $F$  в течение одного года изменяется относительно мало по сравнению с изменениями этой же величины для рек смешанного и в особенности сезонного или снегового типа питания.

Вследствие этого для данного какого-либо года связь между расходами и температурами для отдельных месяцев летнего полугодия для рек ледникового типа должна выступать гораздо отчетливее, чем для рек смешанного и снегового типа питания. В самом деле, если вычислить коэффициенты корреляции между расходами отдельных месяцев и температурами тех же месяцев для среднего года, то получим— для Зеравшана этот коэффициент корреляции равным 0,93, для Нарына 0,62, для Чирчика 0,45, т.-е. результаты вычислений вполне подтверждают те предположения, которые были высказаны выше относительно влияния изменчивости  $F$  на характер зависимости между  $Q$  и  $\tau$ .

Мало того, если для р. Зеравшана проделать такие же вычисления для засушливого и многоводного года отдельно, то получим для 1916/17 г. (маловодный) = 0,86; для 1921/22 г. (многоводный) = 0,59. Эти результаты вполне понятны, если принять во внимание, что в засушливые годы величина  $F$  (главным образом вечные запасы снега и льда) меняется незначительно по сравнению с величиной  $F$  для многоводных лет, когда сезонные запасы (изменчивая часть) оказывают значительное влияние на режим реки.

### III.

Если расходы отдельных месяцев летнего полугодия находятся в определенной функциональной зависимости от величин  $F\tau$  и  $\beta$ , то, очевидно, средние расходы за вегетационный период должны так же определенным образом быть связаны с этими же величинами. Однако, для вегетационного периода гораздо сложнее выявить истинный харак-

<sup>1</sup>) Сказанное справедливо, конечно, и по отношению к атмосферным осадкам, только в этом случае нужна гораздо большая густота сети.



тер зависимости расхода от «теплового воздействия», т. к., если для отдельных месяцев эта связь затушевывается с одной стороны влиянием изменчивости величины  $F$ , а с другой неопределенностью поправок, которые нужно вводить к температурам воздуха какой-либо метеорологической станции, расположенной в данном речном бассейне, чтобы получить представление о температуре воздуха в той части бассейна, где в данном месяце происходит процесс таяния, то для всего вегетационного периода эта изменчивость величины  $F$  в лучшем случае сохраняет свое влияние на зависимость между  $Q$  и  $\tau$ , а кроме того, что самое главное, несоответствие между  $\tau$  и температурой воздуха по данным одной или нескольких станций возрастает очень значительно вследствие перемещения областей, в которых происходит таяние, от месяца к месяцу в течение всего вегетационного периода.

Да и, наконец, влияние самой величины  $F$  на  $\tau$ , как указывалось уже выше, довольно значительно и имеет обратный характер, что, конечно, тоже оказывает определенное влияние на то, что коэффициенты корреляции между расходами и температурами летнего периода для всех рек имеют отрицательный знак.

В этом случае мы наблюдаем то подавляющее влияние величины  $F$ , как на летние расходы, так и на температуру воздуха в речном бассейне, о котором уже упоминалось выше.

Это влияние становится вполне очевидным, если вычислить коэффициенты между расходами летнего полугодия и суммами атмосферных осадков за время с X—V. Последний промежуток времени взят потому, что, в сущности говоря, осадки VI, VII и VIII оказывают незначительное влияние на общий режим рек Средней Азии.

$r_{yx}$   
у—расход за вегетационный период.

Название реки	х	х
	Сумма осадков с X-V	Расходы зимнего полугодия
Мургаб. . . . .	0.61	0.09
Чирчик . . . . .	0.91	0.76
Нарын . . . . .	0.84	0.81
Исфайрам-Сай . . . . .	0.64	0.41
Зеравшан . . . . .	0.78	0.27

В этой же табличке приведены коэффициенты корреляции между расходами летнего и зимнего полугодий, причем эти последние все без исключения меньше коэффициентов корреляции между расходами летнего полугодия и суммами осадков с X—V.

Если же попытаться учесть совокупное влияние суммы осадков с X—V и либо расходов зимнего полугодия, либо температур зимнего

или летнего полугодия на расходы летнего полугодия, то получаются следующие результаты:

$$R_{x,z,y}^1)$$

z—расход за вегетационный период.

Название реки	у—сумма осадков с X—V х—темп. невег. периода	у—сумма осадков с X по V х—темп. вегет. периода	у—сумма осадков с X—V х—расход невег. пер.	у—расход невегет. периода х—темп. невегет. периода
Мургаб . . . . .	0.73	0.80	0.66	0.13
Чирчик . . . . .	0.92	0.92	0.92	0.78
Нарын . . . . .	0.83	0.85	0.93	0.82
Исфайрам-Сай . . . . .	0.64	0.65	0.71	0.39
Зеравшан . . . . .	0.78	0.78	0.79	0.31

С одной стороны мы видим, что для различных рек коэффициенты корреляции принимают максимальные значения для различных комбинаций. Так, напр., для рек Мургаба и Чирчика R достигает максимума, когда у—сумма осадков с X—V, а х—температура вегетационного периода, для рек же Исфайрам-Сай, Зеравшана и Нарына R максимум при у=сумме осадков с X—V, а х=расходу невегетационного периода. Это различие в различных комбинациях переменных для получения максимальных значений R принадлежит, повидимому, к числу индивидуальных свойств отдельных бассейнов. С другой стороны нетрудно видеть, что введение в корреляцию еще какой-либо переменной, кроме сумм атмосферных осадков вызывает относительно малое увеличение коэффициентов корреляции, что позволяет и в этом случае отметить то обстоятельство, что основным фактором, определяющим водоносность рек Средней Азии за вегетационный период являются атмосферные осадки, всем же прочим элементам и в этом случае принадлежит второстепенное место.

### Заключение.

Все реки Средней Азии можно подразделить на три основных типа: снеговые, ледниковые и смешанные. К ледниковому типу принадлежат реки, питание которых происходит за счет таяния вечных снегов и льда. Они характеризуются высоко-расположенными областями питания, находящимися выше линии вечного снега. Реки снегового типа питаются за счет таяния «сезонных» запасов снега. Их бассейны целиком расположены ниже снеговой линии. К рекам смешанного типа надлежит отнести реки, которые питаются отчасти «сезонными», отчасти «вечными» запасами снега.

Независимо от принадлежности к тому или иному типу водоносность всех рек Средней Азии зависит главным образом от атмосферных

<sup>1)</sup> Во все корреляции входит температура в 13<sup>h</sup>.

осадков, выпадающих в их бассейне. Это подтверждается большими значениями коэффициентов корреляции между средними годовыми расходами и суммами атмосферных осадков, вычисленными даже не для каждого бассейна в целом, а по данным небольшого количества станций.

Название реки	r
Мургаб . . . . .	0.69
Чирчик . . . . .	0.87
Нарын . . . . .	0.85
Сыр-Дарья . . . . .	0.82
Исфайрам Сай . . . . .	0.62
Зеравшан . . . . .	0.74

Вместе с тем существует некоторое определенное различие между характером зависимости водоносности рек Ср. Азии от сумм атмосферных осадков. Это различие заключается в том периоде времени, в течение которого совершается круговорот влаги в бассейнах рек различного типа. Для рек снегового типа годовое количество воды в них зависит от количества атмосферных осадков, выпавших в их бассейнах в течение года. Круговорот влаги в них охватывает относительно незначительный промежуток времени, по всей вероятности несколько более одного года и во всяком случае менее трех лет, иными словами, роль дополнительного члена в уравнении Пенка-Оппокова, известного под наименованием «прибыль», — «убыль запаса влаги» незначительна. Другое дело — реки ледникового типа. Высоко расположенные области питания их служат мощными аккумуляторами влаги. Атмосферные осадки, выпадающие в области фирновых полей, претерпевают сложную серию превращений, прежде чем путем таяния попадут в реку. Требуется, повидимому, довольно значительный промежуток времени для того, чтобы атмосферные осадки превратились в фирн, фирн превратился в лед в верхней части ледника, а этот последний в своем медленном движении достиг, наконец, того положения, где начинается таяние льда, и талая вода попадает, наконец, в реку. Таким образом можно предполагать, что для рек ледникового типа период времени, в течение которого совершается круговорот влаги в речном бассейне много больше, чем для рек снегового типа; кроме того, для ледниковых рек, повидимому, значительно возрастает роль и значение того дополнительного члена уравнения Пенка-Оппокова — «прибыль» и «убыль», который имеет второстепенное значение для рек снегового типа.

Реки смешанного типа питания занимают промежуточное положение между реками снегового и ледникового типа. Точнее говоря, для рек смешанного типа оба процесса питания как бы накладываются один на другой и создают довольно сложную запутанную картину. В годы, богатые осадками, на первый план выступает питание за счет «сезонных осадков», в годы засушливые — главная роль принадлежит ледниковому питанию.

осадков, выпадающих в их бассейне. Это подтверждается большими значениями коэффициентов корреляции между средними годовыми расходами и суммами атмосферных осадков, вычисленными даже не для каждого бассейна в целом, а по данным небольшого количества станций.

Название реки	r
Мургаб . . . . .	0.69
Чирчик . . . . .	0.87
Нарын . . . . .	0.85
Сыр-Дарья . . . . .	0.82
Исфайрам Сай . . . . .	0.62
Зеравшан . . . . .	0.74

Вместе с тем существует некоторое определенное различие между характером зависимости водоносности рек Ср. Азии от сумм атмосферных осадков. Это различие заключается в том периоде времени, в течение которого совершается круговорот влаги в бассейнах рек различного типа. Для рек снегового типа годовое количество воды в них зависит от количества атмосферных осадков, выпавших в их бассейнах в течение года. Круговорот влаги в них охватывает относительно незначительный промежуток времени, по всей вероятности несколько более одного года и во всяком случае менее трех лет, иными словами, роль дополнительного члена в уравнении Пенка-Оппокова, известного под наименованием «прибыль», — «убыль запаса влаги» незначительна. Другое дело — реки ледникового типа. Высоко расположенные области питания их служат мощными аккумуляторами влаги. Атмосферные осадки, выпадающие в области фирновых полей, претерпевают сложную серию превращений, прежде чем путем таяния попадут в реку. Требуется, повидимому, довольно значительный промежуток времени для того, чтобы атмосферные осадки превратились в фирн, фирн превратился в лед в верхней части ледника, а этот последний в своем медленном движении достиг, наконец, того положения, где начинается таяние льда, и талая вода попадает, наконец, в реку. Таким образом можно предполагать, что для рек ледникового типа период времени, в течение которого совершается круговорот влаги в речном бассейне много больше, чем для рек снегового типа; кроме того, для ледниковых рек, повидимому, значительно возрастает роль и значение того дополнительного члена уравнения Пенка-Оппокова — «прибыль» и «убыль», который имеет второстепенное значение для рек снегового типа.

Реки смешанного типа питания занимают промежуточное положение между реками снегового и ледникового типа. Точнее говоря, для рек смешанного типа оба процесса питания как бы накладываются один на другой и создают довольно сложную запутанную картину. В годы, богатые осадками, на первый план выступает питание за счет «сезонных осадков», в годы засушливые — главная роль принадлежит ледниковому питанию.

Связь между годовыми расходами и температурой воздуха характеризуется следующими коэффициентами корреляции:

Мургаб	—0.33
Чирчик	—0.38
Нарын	—0.49
Сыр-Дарья	—0.59
Аму-Дарья	—0.75
Зеравшан	—0.18
Исфайрам-Сай	—0.16

Все эти коэффициенты корреляции в общем имеют отрицательный знак и во всяком случае меньше коэффициентов корреляции между расходами и суммами атмосферных осадков.

## II.

За гидрологический год, следуя примеру Э. Ольдекопа, можно принять промежуток времени от 1/X по 30/IX. Весь годовой период отчетливо разделяется на две части—зимнее полугодие (невегетационный период 1/X—31/III) и летнее полугодие (вегетационный период 1/IV—30/IX). Расходы зимнего полугодия очень устойчивы, расходы летнего полугодия, напротив, характеризуются большой изменчивостью.

В течение зимнего полугодия питание рек Ср. Азии происходит главным образом за счет запасов грунтовых вод и отчасти атмосферных осадков зимнего же полугодия.

Между расходами и температурами воздуха намечается слабо выраженная зависимость обратного порядка. Питание рек за вегетационный период происходит за счет запасов влаги, скопившихся в речных бассейнах к началу вегетационного периода.

Расход воды за некоторый промежуток времени в течение вегетационного периода  $Q = \alpha F \tau + \beta$ , где  $F$  площадь снегового покрова к началу того промежутка времени, к которому относится расход  $Q$ ,  $\tau$ —тепловое воздействие за этот же промежуток времени, т. е. совокупное действие солнечной радиации и температуры воздуха,  $\alpha$ —некоторый постоянный коэффициент,  $\beta$ —некоторая функция от запасов грунтовых вод и атмосферных осадков того периода, к которому относится  $Q$ . В случае сложности бассейна формула может быть видоизменена следующим образом:  $Q = \Sigma \alpha F \tau + \Sigma \beta$ , где  $\Sigma$  обозначает сумму, охватывающую произведения  $F \tau$  для отдельных частей речного бассейна. Анализ этой формулы вполне удовлетворительно объясняет все особенности в режиме рек различного типа.

У рек снегового типа  $F$  довольно быстро уменьшается настолько, что при дальнейшем увеличении  $\tau$  произведение  $F \tau$  не возрастает, а убывает. Вот почему паводки на реках снегового типа наступают в самом начале вегетационного периода. Реки ледникового и смешанного типа питания характеризуются несколькими паводковыми волнами, часть которых, наиболее ранняя, сезонного происхождения, часть во

второй половине этого периода ледникового происхождения. Существование отдельных паводковых волн объясняется, как мне кажется, тем обстоятельством, что отдельные части бассейна в разное время вступают в фазу таяния и в то же время характеризуются различными значениями величины  $F$ . Запасы влаги, участвующие в образовании первой весенней волны, несравненно меньше всех остальных запасов. Вследствие этого весенняя волна не так интенсивна, как последующие летние. Соотношение между летними паводковыми волнами зависит от соотношения величин  $F$  для волны «сезонного» и «ледникового» происхождения. В годы особо засушливые сезонные запасы значительно меньше запасов вечного льда и снега. Поэтому в эти годы паводковая волна ледникового происхождения обычно превосходит волну сезонного происхождения. В годы многоводные, напротив, волна «сезонного происхождения» настолько велика по сравнению с волной «ледникового» происхождения, что первая почти покрывает или, точнее, сливается со второй. Мало того, в засушливые годы вследствие того, что величина  $F$ , в начале вегетационного периода характеризующая запасы влаги сезонного происхождения, относительно мала и вследствие этого очень быстро достигает того значения, при котором дальнейшее увеличение  $\tau$  не может вызвать увеличения  $F\tau$ ; в эти годы паводковая волна сезонного происхождения должна наблюдаться значительно раньше, чем в годы многоводные. Вследствие этого должен увеличиться промежуток времени между волнами «сезонного» и «ледникового» происхождения. В годы многоводные, напротив,  $F$  достигает больших значений, и моменты наступления максимума, как первой, так и второй волны запаздывают, и в результате для рек смешанного типа питания две последних волны сливаются вместе.

Зависимость расходов за отдельные промежутки времени вегетационного периода (месяцы) от величины  $F\tau$  хорошо иллюстрируются большими значениями коэффициентов корреляции между расходами и суммами атмосферных осадков от  $1/X$  до начала каждого месяца. Коэффициенты корреляции между расходами отдельных месяцев и температурами этих же месяцев относительно незначительны и во многих случаях имеют отрицательный знак. Противоречие между такими значениями коэффициентов корреляции и уравнением  $Q = \alpha F\tau + \beta$  объясняется прежде всего гораздо большей изменчивостью величины  $F$  по сравнению с  $\tau$  и большим влиянием величины  $F$ , чем  $\tau$ , на расходы.

Между расходами смежных месяцев также нередко существует достаточно отчетливо выраженная связь, характеризуемая большими значениями коэффициентов корреляции между этими расходами. Эту особенность, заключающуюся, в сущности говоря, в устойчивости месячных аномалий расходов рек, можно назвать гидрологической инерцией, а коэффициенты корреляции между расходами смежных месяцев индексами гидрологической инерции. Эти индексы были бы полезны в том отношении, что они давали бы представление не только об устойчивости гидрологических аномалий, но и служили бы в то же время и характеристиками однородности условий питания реки в смежные месяцы. Сред-

ние расходы рек Средней Азии за весь вегетационный период находятся в прямой зависимости, главным образом, от сумм атмосферных осадков. Это подтверждается большими положительными значениями коэффициентов корреляции между расходами летнего полугодия и суммами осадков за время с X—V. Что же касается зависимости расходов от температуры воздуха, то она характеризуется отрицательными коэффициентами корреляции между этими элементами, при чем эти коэффициенты по своим абсолютным значениям меньше коэффициентов корреляции между расходами и суммами атмосферных осадков. Отрицательный знак коэффициентов корреляции между расходами и температурами, как мне кажется, можно было бы об'яснить следующим образом. Зависимость прямого порядка между количествами воды в реке и атмосферными осадками несомненна. Годы многоводные представляют собой в то же самое время и годы обильные атмосферными осадками. В эти годы запасы снега в горах очень велики, снеговой покров занимает очень большие пространства и достигает большой мощности. На расходование снегового покрова путем таяния требуется значительные количества тепла, и они тем больше, чем больше запасы снега. Это расходование больших количеств тепла на таяние обуславливает, повидимому, пониженные температуры воздуха. Напротив, в засушливые годы, когда запасы снега относительно незначительны, освободившиеся по сравнению с многоводными годами большие запасы тепла идут на нагревание речного бассейна и на повышение температуры воздуха. Таким образом было бы, быть может, правильнее формулировать следующим образом зависимость между летними расходами и температурой воздуха за летнее полугодие: повышенным расходам летнего полугодия соответствуют пониженные температуры воздуха того же полугодия и наоборот—пониженным расходам соответствуют повышенные температуры.

Таким образом, несомненно, что основным фактором водоносности рек Средней Азии являются атмосферные осадки.

---

## Zusammenfassung.

Alle Flüsse Mittelasiens lassen sich in drei Haupttypen einteilen: den Schneetypus, den Gletschertypus und den gemischten Typus. Zum Gletschertypus gehören diejenige Flüsse, deren Ernährung sich auf Kosten der Schmelze des perennierenden Schnees und Eises vollzieht. Sie sind gekennzeichnet durch hochgelegene Ernährungsgebiete, die über die Grenze des ewigen Schnees hinausreichen. Die Flüsse des Schneetypus werden gespeist auf Kosten der jahreszeitlichen Schneeschätze. Ihre Flussgebiete liegen durchweg unter der Schneegrenze. Zu den Flüssen des gemischten Typus müssen diejenige gezählt werden, deren Speisung teils durch jahreszeitliche teils durch «ewige» Schneeaufspeicherung geschieht.

Ganz unabhängig von der Zugehörigkeit zu diesem oder jenem Typus hängt die Wasserführung der Flüsse Mittelasiens hauptsächlich von den atmosphärischen Niederschlägen ab, die im Flussgebiet fallen. Eine Bestätigung hierfür bieten die grossen Werte der Korrelationskoeffizienten zwischen den jährlichen Abflussmengen und den Niederschlagssummen, selbst wenn diese Koeffizienten nicht für das ganze in betracht kommende Flussgebiet, sondern nur für eine geringe Zahl von Stationen berechnet sind.

F l ü s s e	r
Murghab . . . . .	0.69
Tschirtschik. . . . .	0.87
Naryn . . . . .	0.85
Syr-darja . . . . .	0.82
Issfairam-sai . . . . .	0.62
Serafschan . . . . .	0.74

Daneben aber sind bestimmte Unterschiede im Charakter der Abhängigkeit der Wasserführung der Flüsse Mittelasiens von den Mengen atmosphärischer Niederschläge vorhanden. Dieser Unterschied besteht in der Zeitdauer, während welcher sich der Wasserkreislauf in den Flussgebieten der verschiedenen Typen vollzieht. Bei den Flüssen des Schneetypus hängt die jährliche Wassermenge von der Menge des atmosphärischen Niederschlags ab, die im Laufe des Jahres in ihren Gebieten fällt. Der Wasserkreislauf umfasst hier einen verhältnismässig geringen Zeitraum, höchstwahrscheinlich etwas über ein Jahr und jedenfalls nicht weniger als drei Jahre; mit anderen Worten ist in der Gleichung von Penk-Oppokow die Rolle des Ergänzungsgliedes, bekannt unter der Benennung «Gewinn»—«Verlust des Wasservorrats», unbedeutend. Anders jedoch bei den Flüssen des Gletschertypus. Die hochgelegenen Speisungsgebiete dieser dienen als mächtige Aufspeicherungsräume. Die atmosphärischen Niederschläge, die im Gebiet der Firnfelder fallen, sind einer Reihe komplizierter Umwandlungen unterworfen ehe sie durch Schmelzen in den Fluss gelangen. Es ist scheinbar eine geraume Zeit dazu erforderlich, dass der atmosphärische Niederschlag sich in Firn verwandelt, der Firn in Eis im oberen Teile des Gletschers und dass letzterer bei seiner langsamen Bewegung schliesslich diejenige Lage erreicht, wo die Eisschmelze beginnt und das Schmelzwasser zuguterletzt in den Fluss gelangt.

Man ist folglich zur Annahme berechtigt, dass für die Flüsse des Gletschertypus der Zeitraum, während dessen sich der Wasserkreislauf im Flussgebiet abspielt, erheblich länger ist als der bei den Flüssen des Schneetypus; dazu kommt noch, dass bei den Gletscherflüssen die Rolle und Bedeutung jenes Ergänzungsgliedes in der Gleichung von Penk-Oppokow «Gewinn» und «Verlust» der für die Flüsse des Schneetypus eine nur untergeordnete Bedeutung hat, bedeutend anwächst.

Die Flüsse des gemischten Speisungstypus nehmen eine Mittelstellung zwischen den Flüssen des Schnee—und jenes des Gletschertypus ein. Genauer gesagt überlagern sich gewissermassen im Falle der Flüsse des gemischten Typus beide Prozesse und erzeugen ein recht kompliziertes verworrenes Bild. In niederschlagsreichen Jahren tritt an erste Stelle die Speisung auf Kosten der «jahreszeitlichen Niederschläge», in Trockenjahren fällt die Hauptrolle der Gletscherspeisung zu.

Die Beziehung zwischen jährlichen Abflussmengen und der Lufttemperatur ist durch folgende Korrelationsfaktoren gekennzeichnet.

Murghab . . . . .	—0.33
Tschirtschik . . . . .	—0.38
Naryn . . . . .	—0.49
Syr-darja . . . . .	—0.59
Amu-darja . . . . .	—0.75
Serafschan . . . . .	—0.18
Issfairam-sai . . . . .	—0.16

All diese Korrelationskoeffizienten haben im allgemeinen das Minusvorzeichen und sind jedenfalls kleiner als die Korrelationskoeffizienten zwischen den Abflussmengen und den Summen der atmosphärischen Niederschläge.

## II.

Nach einem Vorgang von E. Oldekop kann man für das hydrologische Jahr den Zeitraum vom 1.X bis zum 30.IX wählen. Der ganze Jahreslauf zerfällt deutlich in zwei Teile—das Winterhalbjahr (die Nichtvegetationsperiode 1.IX—31.III) und das Sommerhalbjahr (die Vegetationsperiode 1.IV—30.IX). Die Abflussmengen des Winterhalbjahrs sind sehr stabil, während umgekehrt diejenigen des Sommerhalbjahrs durch grosse Veränderlichkeit gekennzeichnet sind.

Während des Winterhalbjahrs werden die Flüsse Mittelasiens vorwiegend auf Kosten des Grundwassers gespeist und teilweise durch ebenfalls winterliche atmosphärische Niederschläge.

Zwischen den Wassermengen und der Lufttemperatur ist eine schwach ausgeprägte Beziehung umgekehrter Ordnung erkennbar. Die Speisung der Flüsse während der Vegetationsperiode geschieht auf Kosten der Wasservorräte, die in den Flussgebieten zu Beginn dieser Periode aufgespeichert sind.

Die Abflussmenge während eines gewissen Zeitraums im Laufe der Vegetationsperiode ist gleich:  $Q = \alpha F\tau + \beta$ , wo  $F$ —die Fläche der Schneedecke zu Beginn jenes Zeitraums, auf welchen sich der Abfluss  $Q$  bezieht, bedeutet,  $\tau$ —die Wärmeeinwirkung während derselben Zeit, d. h. die Gesamtwirkung von Sonnenstrahlung und Lufttemperatur,  $\alpha$ —einen konstanten Koeffizienten,  $\beta$ —eine Funktion der Grundwasservorräte und der atmosphärischen Niederschläge während des Zeitraums, auf welchen sich  $Q$  bezieht. Im Falle eines komplizierten Flussgebiets kann diese Formel folgendermassen umgewandelt werden:  $Q = \Sigma \alpha F\tau + \beta$ , wo  $\Sigma$  die Summe bedeutet, welche die Produkte  $F\tau$  für die einzelnen Teile des Flussgebiets umfasst. Die Untersuchung dieser Formel erklärt auf durchaus befriedigende Weise alle Besonderheiten im Regime von Flüssen verschiedener Typen.

Nimmt im Falle von Flüssen des Schneetypus  $F$  genügend schnell ab, so wächst bei weiterem Zunehmen von  $\tau$  das Produkt  $F\tau$  nicht an, sondern wird kleiner. Daher kommt es, dass bei Flüssen des Schneetypus das Hochwasser ganz zu Anfang der Vegetationsperiode eintritt. Flüsse, die Gletscherspeisung oder gemischte Speisung haben, sind durch mehrere

Hochwasserwellen gekennzeichnet, deren früher Teil jahreszeitlichen Ursprungs ist, während der in die zweite Hälfte dieser Periode fallende Teil Gletscherursprung hat. Das Vorhandensein einzelner Hochwasserwellen ist meiner Meinung nach dadurch zu erklären dass einzelne Teile des Flussgebiets zu verschiedener Zeit ins Schmelzestadium treten und gleichzeitig durch verschiedene Werte der Grösse  $F$  charakterisiert sind. Die Wasservorräte, die an der Erzeugung der ersten Frühjahrswelle teilnehmen, sind unvergleichlich geringer als alle übrigen Vorräte. Infolgedessen ist die Frühjahrswelle nicht so intensiv, wie die nachfolgenden sommerlichen. Das Verhältnis der sommerlichen Hochwasserwellen zueinander hängt vom Verhältnis der Grössen  $F$  der Wellen «jahreszeitlichen Ursprungs» und denen mit «Gletscherursprung» ab. In besonders trockenen Jahren sind die jahreszeitlichen Vorräte erheblich geringer, als die Vorräte von ewigem Schnee und Eis. Im allgemeinen übertrifft daher in solchen Jahren die Hochwasserwelle mit «Gletscherursprung» diejenige mit jahreszeitlichem Ursprung. Umgekehrt ist in wasserreichen Jahren die Welle «jahreszeitlichen Ursprungs» dermassen gross im Vergleich zur Welle mit «Gletscherursprung», dass erstere die zweite fast überdeckt, oder genauer gesagt, mit ihr zusammenfliesst. Mehr noch, dank dem Umstande, dass in Trockenjahren die Grösse  $F$ , welche die Wasservorräte jahreszeitlichen Ursprungs charakterisiert, zu Beginn der Vegetationsperiode verhältnismässig gering ist und infolgedessen sehr bald denjenigen Wert erreicht, bei welchem ein weiteres Anwachsen von  $\tau$  keine Vergrösserung von  $F$  hervorrufen kann, muss in diesen Jahren die Hochwasserwelle bedeutend früher beobachtet werden, als in wasserreichen Jahren. Infolgedessen muss sich auch der Zeitraum verlängern zwischen den Wellen mit «jahreszeitlichem» und mit «Gletscherursprung». In wasserreichen Jahren hingegen erreicht  $F$  grosse Werte und die Eintrittsmomente des Maximum's sowohl der ersten, als auch der zweiten Welle verspäten, so dass als Folge davon bei Flüssen des gemischten Typus die beiden letzten Wellen ineinanderfliessen.

Die Abhängigkeit der Abflussmengen für einzelne Abschnitte der Vegetationsperiode (Monate) von der Grösse  $F$  ist gut veranschaulicht durch die grossen Werte der Korrelationskoeffizienten zwischen den Wassermengen und den Summen der atmosphärischen Niederschläge gerechnet vom 1. X bis zu Beginn der einzelnen Monate. Die Korrelationsfaktoren zwischen den Abflussmengen der einzelnen Monate und den Lufttemperaturen der entsprechenden Monate sind relativ gering und haben in vielen Fällen das Minusvorzeichen. Der Widerspruch zwischen solchen Werten der Korrelationsfaktoren und der Gleichung  $Q = \alpha F \tau + \beta$  erklärt sich vor allem durch die erheblich grössere Veränderlichkeit der Grösse  $F$  im Vergleich mit  $\tau$  und den grösseren Einfluss der ersteren auf die Abflussmengen.

Zwischen den Wasserführungen benachbarter Monate ist auch des öfteren ein genügend deutlich ausgeprägter Zusammenhang vorhanden, gekennzeichnet durch grosse Werte der Korrelationskoeffizienten zwischen diesen Wassermengen. Diese Besonderheit, die im Grunde genommen in der Beständigkeit der monatlichen Anomalien der Abflussmengen besteht, könnte man als hydrologische Trägheit bezeichnen und die Korrelationskoeffizienten der benachbarten Monate als Indexe der hydrologischen Trägheit. Diese Indexe könnten insofern von Nutzen sein, dass sie nicht nur eine Vorstellung von der Beständigkeit der hydrologischen Anomalien ermöglichen, sondern zugleich auch als Charakteristiken der Gleichartigkeit der Speisungsverhältnisse in benachbarten Monaten dienen könnten. Die mittleren Abflussmengen der Flüsse Mittelasiens während der ganzen Vegetationsperiode befinden sich in direktem Zusammenhang hauptsächlich mit den Summen der atmosphärischen Niederschläge. Eine Bestätigung hierfür liefern die grossen positiven Werte der Korrelationsfaktoren zwischen den Abflussmengen des Sommerhalbjahrs und den Niederschlagssummen von Oktober bis Mai. Was nun die Beziehung zwischen Abflussmenge und Lufttemperatur anbelangt, so tritt diese in grossen negativen Korrelationskoeffizienten zwischen diesen Elementen zutage und zwar sind diese Koeffizienten ihren absoluten Werten nach kleiner als die Korrelationskoeffizienten zwischen den Abflussmengen und den Summen der atmosphärischen Niederschläge. Für das Minusvorzeichen der Korrelationskoeffizienten zwischen Abflussmenge und Lufttemperatur wäre meiner Ansicht nach folgende Erklärung anzunehmen. Ein Zusammenhang direkter Ordnung zwischen Wasserführung der Flüsse und den atmosphärischen Niederschlägen

unterliegt keinem Zweifel; wasserreiche Jahre sind zugleich auch niederschlagsreiche Jahre. In solchen Jahren sind die Schneevorräte im Gebirge sehr gross, die Schneedecke erstreckt sich über sehr grosse Flächen und ist von bedeutender Mächtigkeit. Zur Fortschaffung der Schneedecke durch Abschmelzen ist eine bedeutende Wärmemenge erforderlich und zwar um so mehr je grösser die Schneevorräte sind. Dieser Aufwand von grossen Wärmemengen zur Schneeschmelze bedingt wiederum eine Erniedrigung der Lufttemperatur. Sind im Gegenteil während trockener Jahre die Schneevorräte verhältnismässig gering, so dienen die grossen Wärmevorräte, die nun im Vergleich zu wasserreichen Jahren frei werden, der Erwärmung des Flussgebiets und zur Erhöhung der Lufttemperatur. Somit wäre es möglicherweise richtiger den Zusammenhang zwischen sommerlichen Abflussmengen und der Lufttemperatur für das Sommerhalbjahr folgendermassen auszudrücken: erhöhte Abflussmengen des Sommerhalbjahrs entsprechen erniedrigte Lufttemperaturen desselben Halbjahrs und umgekehrt—erniedrigten Abflussmengen entsprechen erhöhte Temperaturen.

Es ist somit zweifellos, dass für die Wasserführung der Flüsse Mittelasiens hauptsächlich die atmosphärischen Niederschläge ausschlaggebend sind.

---

Таблица средних годовых расходов рек в куб. метрах в сек. год X—IX.

	Мургаб	Чирчик	Нарын	Сыр-Дарья	Реки Ферганской долины
1877		170			
1878		262			
1879		147			
1880		238			
1881		184			
1882		239	553	662	109
1883		172	449	530	81
1884		248	434	511	77
1885		184	321	367	46
1886		294	563	675	112
1887		191	495	588	93
1888		206	528	630	102
1889		237	532	636	104
1890		187	546	654	108
1891		186	430	506	76
1892		288	550	658	108
1893		215	393	459	66
1894		195	414	486	72
1895		265	499	549	50
1896		274	510	608	98
1897		189	517	616	99
1898		255	642	775	133
1899	34	169	436	514	78
1900	56	259	494	587	93
1901	47	221	550	559	9
1902	30	330	665	748	183
1903	89	314	605	756	151
1904	58	202	554	664	110
1905	46	221	544	659	115
1906	51	190	514	519	5
1907	56	280	568	600	32
1908	54	360	775	906	131
1909	42	221	497	660	164
1910	45	207	518	683	165
1911	59	191	426	522	96
1912	51	241	441	533	92
1913	45	209	443	574	131
1914	49	279	444	556	112
1915	52	252	399	481	82
1916	41	186	360	400	40
1917	22	136	274	295	21
1918	35	204	340	367	27
1919	40	219	430	507	77
1920	47	178	414	486	72
1921	31	357	859	1052	193
1922	50	272	576	691	115
1923	71	234	527	629	102
1924	82	246	557	668	111
1925	48	183	389	530	81
1926	42	172	365	444	79
1927	33	142	308	362	54

Примечание: Курсивом напечатаны интерполированные расходы. Интерполяция производилась главным образом при помощи уравнений регрессии, связывающих средние годовые расходы с метеорологическими элементами. Исключение составляет Нарын, для которого расходы интерполированы по расходам Сыр-Дарьи, кроме расходов за 1902 и 1903 годы, вычисленных также как функции от метеорологических элементов. Расходы р. Мургаба получены из У. В. Х. Туркмении, рек Чирчика, Нарына и Сыр-Дарьи из О. И. И. В. Х. Средней Азии. Под расходами рек Ферганской долины следует понимать разность между расходами Сыр-Дарьи и Нарына.

Таблица десятилетних средних расходов рек в куб. метрах в секунду.

	Мургаб	Чирчик	Нарын	Сыр-Дарья	Рекы Ферганской долины
1877— 86		214			
1878— 87		216			
1879— 88		210			
1880— 89		219			
1881— 90		214			
1882— 91		214	485	576	91
1883— 92		219	485	576	91
1884— 93		224	479	568	89
1885— 94		218	477	566	89
1886— 95		226	495	584	89
1887— 96		224	490	577	88
1888— 97		224	492	580	88
1889— 98		229	503	595	91
1890— 99		222	494	582	89
1891—1900		230	489	576	87
1892—1901		233	500	581	81
1893—1902		237	512	590	88
1894—1903		247	533	620	97
1895—1904		248	547	638	100
1896—1905		243	550	649	107
1897—1906		235	552	640	98
1898—1907		244	557	638	91
1899—1908	52	255	570	651	91
1900—1909	53	260	576	666	99
1901—1910	52	255	579	675	106
1902—1911	53	252	566	672	106
1903—1912	55	243	544	650	106
1904—1913	51	232	528	632	104
1905—1914	50	240	517	621	104
1906—1915	50	243	502	603	101
1907—1916	49	243	487	592	104
1908—1917	46	228	458	561	103
1909—1918	44	213	414	507	93
1910—1919	44	212	407	492	84
1911—1920	44	210	397	472	75
1912—1921	41	226	440	525	85
1913—1922	41	229	454	541	87
1914—1923	44	232	462	546	84
1915—1924	47	228	474	559	84
1916—1925	47	222	473	562	84
1917—1926	47	220	470	567	88
1918—1927	48	221	474	574	91

Таблица годовых сумм атмосферных осадков в миллиметрах (год с X—IX.)

Станции Годы	Термез+ Керки	Ташкент+ Аулие-Ата	Нарын+ Каракол+ Андижан	Андижан	Самарканд	Керки
	2	2	3			
1882						
1883						
1884						
1885		206				
1886		462				
1887		278				
1888		280				
1889		341				
1890		253				
1891		251				
1892		437				
1893		299				
1894		265				
1895		342				
1896		435			380	
1897		258			435	
1898		388			358	
1899		217			247	
1900		397			387	312
1901	128	374	380	216	334	187
1902	97	464	439	406	243	112
1903	183	433	383	296	435	220
1904	102	227	318	226	297	75
1905	89	320	299	216	—	95
1906	141	266	304	217	—	168
1907	196	329	368	271	—	251
1908	150	439	392	313	428	177
1909	133	298	281	166	397	143
1910	103	267	357	229	—	97
1911	—	302	233	139	—	118
1912	—	295	282	350	—	205
1913	124	261	310	283	—	180
1914	181	436	257	248	171	215
1915	192	421	295	219	323	212
1916	125	228	226	126	202	155
1917		120	140	63	76	44
1918		251	224	107	89	118
1919		303	250	140	224	—
1920		277	346	236	188	283
1921		538	456	518	339	—
1922		368	332	248	358	—
1923		385	347	216	398	—
1924		363	303	168	349	224
1925		276	250	213	276	—
1926		348	269	131	345	133
1927		214	232	72	213	91

11767