

40941
ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

Т Р У Д Ы

СРЕДНЕАЗИАТСКОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

ВЫПУСК 17 (32)



ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ
ЛЕНИНГРАД • 1964

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

Т Р У Д Ы
СРЕДНЕАЗИАТСКОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО
ИНСТИТУТА

ВЫПУСК 17 (32)

ВОПРОСЫ ГИДРОЛОГИИ

Под редакцией
В. Л. ШУЛЬЦА

БИБЛИОТЕКА
ИВГЛ и Г



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛЕНИНГРАД • 1964

АННОТАЦИЯ

В сборнике помещены статьи, посвященные долгосрочным прогнозам стока горных рек, изменению режима р. Сыр-Дарьи в связи с развитием орошения и ледникам Туркестанского хребта, а также статьи, в которых рассматриваются методы вычисления распределения снега по высотным зонам, устойчивость прогностических связей и приведение их к видам, удобным для обобщения.

Сборник рассчитан на гидрологов, гидротехников и географов.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ, ОСНОВАННЫХ НА ВЫЧИСЛЕНИИ ЗАПАСОВ СНЕГА В ГОРАХ

В статье показаны пути вскрытия сущности некоторых методов составления гидрологических прогнозов, совершенствования и упрощения их без уменьшения точности результата.

Работа выполнена применительно к методам, основанным на расчете распределения снеготоплив по высотным зонам.

На примере рек Средней Азии сделаны сравнения точности простых методов со сложными. Дан табличный способ расчета снеготоплив.

В настоящее время прогностическая гидрология достигла значительных успехов. Существует обширная литература, имеются учебники, научной работой прогностического характера занимается большое число специалистов как в научно-исследовательских институтах, так и в управлениях Гидрометеорологической службы. Однако прогностическая гидрология имеет ряд недостатков, объясняющихся ее молодостью как науки. Это прежде всего несовершенство теории и недостаток работ обобщающего характера. Имеется много прогностических методов, которые с успехом могут быть представлены каким-то единым методом, частными случаями которого они являлись бы. Попыткой такого обобщения и является настоящая работа. В ней автор попутно рассматривает и некоторые вопросы теории. В частности, показано применение метода принципов и метода моделей в том понимании их, как это трактуется в книге С. И. Вавилова «Исаак Ньютон» [1].

Два подхода к построению прогностических связей

В настоящее время объем половодья часто предсказывают по запасам воды в снежном покрове перед началом таяния снега. В таком случае прогностическая связь принимает вид

$$Q \approx F_1(w), \quad (1)$$

где Q — объем половодья или средний расход воды за некоторый постоянный промежуток времени, приблизительно равный длительности половодья, например за апрель—сентябрь.

Для горных рек применение этого метода связано с трудностью учета количества снега на водосборе к началу таяния, а также с неопределенностью самого понятия времени начала таяния, так как в горах на разных высотах снег выпадает и тает в самое разнообразное время, фактически весь год. Ввиду этого в прогностических связях типа (1) вместо реального запаса снега (w) пользуются его суррогатом (x), полученным путем обработки наблюдений над осадками и другими метеорологическими элементами на отдельных немногих гидро-

метстанциях. При этом имеется два основных подхода к выбору упомянутого суррогата, т. е. аргумента x прогностической связи

$$Q \approx F_2(x). \quad (2)$$

При первом подходе за x принимают количество осадков за некоторый постоянный промежуток времени, например за октябрь—март, $\sum_{x=III} v = v_{x-III}$ в одном или в нескольких пунктах, расположенных по возможности ближе к рассматриваемому водосбору или в самом водосборе, и считают его некоторым заменителем запасов влаги w водосбора на конец марта. При этом под запасами влаги подразумевается не только запас воды в снежном покрове, но и подземные и прочие воды, которые должны будут участвовать в формировании половодья в рассматриваемом году. Вопрос о том, каково соотношение выбранной величины x с истинными снегозапасами водосбора w , может даже не ставиться. Предполагается лишь одно: выбранное количество осадков x находится в прямой зависимости от истинных запасов влаги w . Но так как сток прямо зависит от этих последних, то он также должен зависеть¹ и от величины x . Правильность гипотезы решается прямым и самым коротким путем: в осях Q и x откладываются точки, соответствующие наблюдаемым значениям этих величин, и среди точек наилучшим образом проводится линия связи

$$\tilde{Q} = F(x). \quad (3)$$

Волнистая черта над Q указывает на то, что дело идет не о действительном стоке (среднем расходе) Q , а о некоторой функции от количества осадков $F(x)$, являющейся приближением к нему, т. е.

$$Q \approx \tilde{Q} = F(x). \quad (4)$$

В этой концепции выбранная величина x принимается как некий заменитель истинных запасов влаги водосбора w , как некоторая статистическая величина, которая по своей природе должна стоять и стоит в прямой приближенной связи (4) со стоком Q . При этом, что особенно характерно для этой концепции, на вид функции (3) не накладывается каких-либо ограничений, связанных с воззрениями автора этой формулы на те гидрометеорологические явления, которые она должна отражать². Вид ее должен вполне объективно определяться общепринятыми правилами нахождения эмпирических зависимостей.

Функция (3) должна быть подобрана такой, чтобы она давала наилучшее приближение вычисленных расходов $\tilde{Q}$ к наблюдаемым Q . Наилучшее приближение понимается в смысле принципа наименьших квадратов или какого-либо иного разумного принципа.

В качестве такого представителя запасов влаги в водосборе x , кроме количества осадков за определенный календарный период, может быть также взята высота снежного покрова по постоянной рейке, запас воды в снежном покрове в районе гидрометстанции, средний запас воды в снежном покрове на выбранном маршруте, меженный расход воды как показатель подземного стока и другие аналогичные величины, получаемые прямо из соответствующих метеорологических наблюдений или после простейшей их обработки, например путем осреднения наблюдений на нескольких станциях. Все исходные величины, часто называемые исходными данными, при построении прогностиче-

¹ На самом деле зависимости Q от x может и не быть.

² Если вид функции (3) противоречит воззрениям автора, то он обычно или меняет убеждения или отбрасывает связь (4) как случайную.

ских связей используются или в отдельности, или из них составляются некоторые взвешенные средние, или вообще берется некоторая функция от них, и тогда переменная x , фигурирующая в уравнениях (2), (3) и (4) в качестве аргумента, сама становится функцией от двух или большего числа переменных, т. е.

$$x = f(u', u'', \dots), \quad (5)$$

а прогностическая формула (3) после замены в ней x на ее выражение (5) и последующего преобразования приобретает вид

$$\bar{Q} = F_3(u', u'', \dots), \quad (6)$$

где $u', u'', \dots$ — исходные величины, получаемые к моменту составления прогноза непосредственно из наблюдений или путем простейшей обработки наблюдаемых данных.

Функции $F_3(x)$ и $f(u', u'', \dots)$ могут быть истолкованы двояко. Во-первых, это могут быть вполне определенные функции, полученные тем или иным способом, и тогда выражение (6) также будет вполне определенным. Во-вторых, они могут выражать только сам факт функциональных зависимостей между переменными, ничего не говоря о виде этих зависимостей. В таком случае и формула (6) указывает лишь на то, что ожидаемый расход (сток) должен быть определен как функция от исходных данных $u', u'', \dots$, и ничего не говорит о виде самой функции.

Формула (6) возникла в результате исключения величины x из формул (3) и (5), причем на функцию, изображаемую формулой (3), не было наложено каких-либо ограничений. Это дает возможность распорядиться функцией (6) по своему усмотрению. Подберем ее такой, чтобы она давала наилучшее приближение вычисленных расходов $\bar{Q}$ к наблюдаемым Q .

Как видим, мы снова вернулись к тому, с чего начинали, с тем лишь различием, что тогда функция $F_1(w)$ была заменена функцией $F(x)$ от одного переменного x , теперь она заменяется функцией от нескольких переменных. Легко видеть, что формула (3) является частным случаем формулы (6).

Сказанное можно сформулировать следующим образом. В результате гидрометеорологического анализа найдено, что при существующей изученности вопроса для предсказания ежегодного расхода воды Q в качестве исходных данных следует использовать величины $u', u'', \dots$. Этим и ограничивается содержание формулы (6).

Гидрометеорологический анализ позволил нам установить те исходные данные, которые должны стать аргументами прогностической формулы типа (6), которую предстоит еще найти. Это можно сделать известными методами математической статистики, применив, например, способ наименьших квадратов или какой-либо другой к рядам наблюдаемых значений величин $Q, u', u'', \dots$

$$\left. \begin{array}{l} Q_1, Q_2, \dots, Q_l, \dots, Q_n, \\ u_1', u_2', \dots, u_l', \dots, u_n', \\ u_1'', u_2'', \dots, u_l'', \dots, u_n'', \end{array} \right\} \quad (7)$$

Когда переменных всего две (Q и $u=x$), то процесс нахождения формулы (6) сводится к простому нанесению точек с координатами Q, x на координатную плоскость и проведению среди них наилучшим образом линии связи. При трех переменных Q, u' и u'' на координатной

плоскости строят семейство линий и по возможности находят и уравнение семейства (6). Оба построения представляют собой чисто математическую операцию без всякого обращения к гидрологии и метеорологии, которые перестали играть свою роль, как только были установлены исходные данные $u'_1, u''_2, \dots$.

Таково содержание первого подхода к построению прогностической связи. Короче говоря, он состоит в том, что на долю метеорологии и гидрологии приходится работа по выбору заменителя истинных снегозапасов или, более общо, аргументов прогностической связи; сама же связь находится чисто математическими методами. Все исходные величины приурочиваются к сроку выпуска прогнозов, например осадки суммируются по 31 марта, а запас воды в снежном покрове в районе станции берется за шестую пятидневку марта, так как прогнозы надлежит составлять 1 апреля. С познавательными (непрогностическими) целями эти данные могут быть взяты и за более поздние сроки, например на конец апреля или мая. Связи при этом обычно становятся теснее, но прогнозы по ним давать уже нельзя, так как истек срок их выпуска.

Изложенный подход к рассматриваемому вопросу есть выражение метода принципов [1]; суть его состоит в том, что на основании опыта высказывается некоторое общее положение, из которого можно сделать много выводов, оправдывающихся на практике, хотя бы само оно выглядело непонятным, необъяснимым. Например, мы не знаем причины всемирного тяготения, но с успехом пользуемся законом всемирного тяготения.

Этому подходу противоположен метод моделей, когда описывается, изучается не само явление природы, а упрощенные модели его. При таком подходе к построению прогностической связи (2) ее пытаются представить в виде (1), т. е. добиваются того, чтобы аргумент связи x выражал действительный запас воды водосбора w хотя бы приближенно. Это делается примерно следующим образом.

Прежде всего, имея некоторые исходные данные $u', u'', \dots$, выражают «снегозапасы» в виде функции

$$\tilde{w} = f_1(u', u'', \dots), \quad (8)$$

причем стараются подобрать ее такой, чтобы вычисленный снегозапас $\tilde{w}$ был как можно ближе к действительному w . Однако это старание, как правило, не выходит за пределы рассуждений, так как действительные снегозапасы, точнее, запасы влаги в горном водосборе, не бывают известными. Поэтому сама функция (8), т. е. ее структура и значения входящих в нее параметров, оказывается чисто теоретической, лишенной связи с действительностью, с тем, что могло быть получено непосредственными наблюдениями на рассматриваемой территории.

После того как формула (8) получена, в нее подставляют наблюдаемые в течение многих лет значения аргументов $u'_i, u''_i, \dots$ и после вычисления получают $\tilde{w}_i (i=1, 2, \dots)$. Превратив указанным способом наблюдаемые ежегодные $u'_i, u''_i, \dots$, т. е. количества осадков, значения температуры и т. д., в ежегодные «запасы влаги» $\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n$, сопоставляют их с ежегодными наблюдаемыми значениями стока $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ и находят прогностическую связь

$$\tilde{Q}_i = F'_1(\tilde{w}_i), \quad (9)$$

которую подбирают такой, чтобы совокупность вычисленных значений

стока $\tilde{Q}_1, \tilde{Q}_2, \dots$ была как можно ближе к совокупности его наблюдаемых значений $Q_1, Q_2, \dots$, иначе, функцию $F_1'(\tilde{w})$ применительно к совокупностям Q_i и $\tilde{w}_i$ выбирают наилучшим образом. В итоге метод предсказания предстанет в виде системы двух уравнений

$$\begin{aligned}\tilde{w} &= f_1(u', u'', \dots), \\ \tilde{Q} &= F_1'(\tilde{w}).\end{aligned}\quad (9a)$$

Такова конкретная суть второго подхода к рассматриваемому вопросу. Разберем, в чем состоит сходство и различие между этими двумя подходами, допустив для простоты, что исходные данные $u', u'', \dots$ в обоих случаях взяты одинаковые.

В первом случае для прогноза служит одна-единственная формула (6), или эквивалентный ей график, таблица, и прогноз сводится к математическому действию непосредственно с исходными данными.

Во втором случае метод составления прогноза является двухступенным: сначала по формуле (8) находят снегозапасы $\tilde{w}$, а затем по формуле (9) и ожидаемый расход $\tilde{Q}$. На практике встречаются и многоступенные методы. Это бывает тогда, когда сами снегозапасы находятся многоступенным способом.

Математически различие между первым и вторым подходами состоит в том, что при первом подходе ожидаемый расход $\tilde{Q}$ выражается непосредственно через исходные величины $u', u'', \dots$, т. е. представляется в форме, удобной для обозрения и анализа как гидрометеорологического, так и математически логического. Второй способ этого лишен, и в этом его недостаток.

В первом случае единственная прогностическая формула (6) выводится путем прямого сопоставления наблюдаемых значений, с одной стороны, расхода воды $\tilde{Q}$ и, с другой, ряда исходных величин $u', u'', \dots$; причем вывод формулы делается наилучшим образом. Это значит, что никакая другая функция от $u', u'', \dots$ не может дать лучшего результата, чем функция $F_3(u', u'', \dots)$. Во втором случае функция $F_1'(\tilde{w})$ в формуле (9) подбирается также наилучшим способом, но по отношению к другим переменным, именно к величинам $\tilde{Q}$ и $\tilde{w}$.

Исключая $\tilde{w}$ из (8) и (9), получим

$$\tilde{Q} = F_1'(\tilde{w}) = F_1'[f_1(u', u'', \dots)],$$

или

$$\tilde{Q} = F_3'(u', u'', \dots). \quad (10)$$

Как видим, для предсказания расхода Q получили две связи — (6) и (10) — с одними и теми же аргументами $u', u'', \dots$. Эти связи, вообще говоря, будут различными, и, как известно [5], связь (6) будет теснее связи (10), т. е. первый способ точнее второго. В этом его второе преимущество перед вторым способом.

Заключительное построение прогностической связи в обоих случаях совершается в принципе одинаковым, чисто статистическим способом. Разница состоит в том, что в первом случае этот неизбежный этап наступает раньше, а во втором — позже. Идя первым путем, приближенный гидрологический анализ заканчивается выбором аргументов прогностической связи, после чего в действие вступает математическая статистика, завершающая расчет. Идя вторым путем, сначала так же и таким же способом решается вопрос об аргументах; потом, опять-таки

исходя из генетических соображений, эти аргументы связываются со снегозапасами, т. е. несколько переменных заменяют одной переменной, и только после этого для получения окончательной формулы обращаются к математической статистике. Как видим, вторая часть «генетического» этапа исследований, по своему существу неточного и не вполне определенного, при первом подходе к вопросу отсутствовала.

Автор обращает внимание противников применения статистических методов и поклонников генетических методов исследования на то, что применение статистических методов исследования в гидрологии является неизбежным, без него не может обойтись самый ярый противник статистики. Это видно, например, из следующего.

Пусть такой противник статистики решил, что сток какой-то реки Q следует предсказывать по снегозапасу w , измерявшемуся в течение многих лет в каком-то районе. Чтобы получить прогностическую связь, исследователь обязательно нанесет на координатную сетку точки наблюдаемых Q и w и проведет на ней линию связи. Он это сделает так, чтобы линия проходила среди точек, по возможности ближе к ним, но не мимо них, даже если бы это противоречило его убеждениям. При этом он проведет линию связи, руководствуясь не какими-то генетическими, физическими, гидрологическими соображениями, а просто по расположению точек относительно друг друга. Не важно, как это будет сделано: на глаз, по центрам тяжести точек или путем применения способа наименьших квадратов, важно, что это будет сделано чисто статистическим способом.

Точно так же неизбежно будет применена статистика и к конструированию самих снегозапасов из исходных данных. Значит, статистика будет применена по крайней мере два раза, прежде чем появится искомая формула (9). При первом подходе это случится всего один раз. На деле выходит, что противник статистики применяет статистику в большей мере, хотя и менее разумно, чем ее поклонник.

Сказанное вовсе не исключает применения во всем этом генетических, физических, гидрологических соображений. Хороший исследователь никогда не упускает из виду природу тех явлений, которые он рассматривает, но, в отличие от дилетанта, он всегда неопределенные, интуитивные генетические соображения старается заменить там, где это можно, строгими доводами и научными фактами.

Применение статистики в гидрологии, к сожалению, ограничено короткими рядами наблюдений, из-за этого выводы, полученные статистическими методами, могут быть подвергнуты сомнению. Вот тут-то мы и бываем вынуждены подменять недостающие факты разными генетическими соображениями. И это правильно. Неправильно то, что зачастую проверенные знания подменяют интуитивными генетическими соображениями.

Когда метод предсказания представлен в одностепенном виде, т. е. в виде формулы (6) или (10), то его легко сравнить с другими подобными методами, что трудно сделать с многостепенными методами, представленными цепочками связей. Поэтому во всех случаях полезно превращать многостепенные методы в одностепенные, как это было только что сделано путем исключения вспомогательной переменной $\bar{w}$ из уравнений (8) и (9), после чего и была получена одна формула (10), равносильная этим двум. Когда дело не доводится до этого логического конца, то один за другим появляется (даже в литературе) несколько методов составления прогноза одной и той же величины, которые трактуются как самостоятельные конкурирующие методы, на

самом же деле, после приведения их всех к виду (10), различия между ними оказываются несущественными.

Далее, когда метод бывает представлен цепочкой связей, где такие понятия, как снегозапасы, выступают всего лишь как вспомогательные переменные, оказывается запутанной и его физическая сущность, не видно рационального зерна метода.

Ниже, изучая конкретные методы, будем стараться представлять их в виде, удобном для обобщения и анализа, раскрывать их сущность и применять к конкретным физико-географическим условиям Средней Азии.

Применим сказанное к построению общей схемы расчета снегозапасов в горных районах, объединяющей в себе наиболее распространенные приемы такого расчета, применяемые Н. Г. Дмитриевой [7], Ш. А. Харшаном [9] и др. Основное положение этих работ состоит в следующем.

Наиболее распространенной исходной идеей служит убеждение, что снегозапас водосбора $\bar{w}$ должен вычисляться, исходя из снегозапасов на отдельных стандартных высотных зонах w_i , т. е.

$$\bar{w} = \varphi_1 w_1 + \varphi_2 w_2 + \dots, \quad (11)$$

где φ_i — долевые площади и i — номера этих зон. Последние разбиваются через определенные интервалы по высоте. Под зональными снегозапасами понимается средняя по площади зоны мощность снежного покрова, пересчитанная на эквивалентный слой воды (снегозапас иногда называют водностью снега). Когда имеются наблюдения над снежным покровом в горах, то за зональные снегозапасы принимается измеренная на отдельных площадках или на маршруте водность снежного покрова с некоторыми поправками, в первую очередь с поправками для приведения к стандартным высотам местности.

Однако необходимые непосредственные наблюдения над снежным покровом обычно отсутствуют, и поэтому зональные снегозапасы определяются косвенными способами — по материалам наблюдений над осадками, температурой воздуха и стоком на некоторых опорных гидрометеорологических станциях. Распределение первых двух величин по территории водосбора находится с помощью интерполяции и экстраполяции через посредство высоты местности. Предполагается, что температура воздуха равномерно убывает с высотой местности, причем градиент температуры не меняется ни во времени, ни в пространстве; что осадки увеличивают мощность снежного покрова только в том случае, если они выпадают при отрицательной температуре воздуха; что при положительной температуре накопления снега не происходит; что естественное регулирование стока отсутствует, т. е. что гидрограф стока повторяет гидрограф «подачи» талой воды.

Ниже рассматривается расчет для бассейна р. Карадарьи, основанный на этих предположениях. Метод расчета П. М. Машукова.

Расчет снегозапасов в бассейне р. Карадарьи. Общие сведения

Исходные величины приведены в табл. 1 в строках 1—4. Осадки брались на станции Кызыл-Джар, расположенной в верховьях р. Карадарьи на высоте 2,2 км над уровнем моря; средняя за декаду (из средних суточных) температура воздуха — по станции Сары-Таш (3,2 км), расположенной в Алайской долине по соседству с водоразделом р. Карадарьи. При определении температуры воздуха на заданных высотах высотный градиент принят равным $6,5^\circ$ на 1 км. Он получен путем срав-

Величины, связанные с гипсографией водосбора р. Карадарьи

1. Порядковый номер ступени (зоны) i		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2. Средняя высота ступени H км		1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	4,2	4,6
3. Температура воздуха в Сары-Таше t град. (при условии, что на высоте H она была равна 0°)		-14,3	-11,7	-9,1	-6,5	-3,9	-1,3	1,3	3,9	6,5	9,1
4. Площадь ступени (зоны) φ в долях от всей площади водосбора (12 400 км ²)		0,049	0,096	0,108	0,158	0,179	0,157	0,120	0,085	0,036	0,012
5. Учитывается гипсография и температура	ψ_1	0,04	0,10	0,11	0,16	0,17	0,16	0,12	0,08	0,04	0,01
5а.	f_1	1,00	0,96	0,86	0,75	0,59	0,41	0,25	0,13	0,05	0,01
6. Учитывается одна температура, гипсография не учитывается	ψ_2	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
6а.	f_2	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10
7. Учитывается гипсография, температура и равномерное увеличение осадков с высотой H	ψ_3	0,03	0,07	0,08	0,15	0,18	0,17	0,14	0,11	0,05	0,02
7а.	f_3	1,00	0,97	0,90	0,82	0,67	0,49	0,32	0,18	0,07	0,02
8. Учитывается гипсография, температура и среднее распределение стока в году	ψ_4	0,02	0,05	0,05	0,07	0,09	0,30	0,23	0,14	0,05	0,00
8а.	f_4	1,00	0,98	0,93	0,88	0,81	0,72	0,42	0,19	0,05	0,00

Примечание. Коэффициенты к декадным количествам осадков в Кызыл-Джаре для подсчета максимального снегованаса на водосборе: ψ — для отдельной зоны, f — для всего водосбора не ниже H .

нения многолетних средних декадных температур воздуха на станциях Ледник Федченко, Сары-Таш, Кызыл-Джар, Алтын-Мазар, Фергана и Андижан. Схема вычислений следующая.

Водосбор уподобляется ступенчатой поверхности с постоянной высотой ступени, равной 0,4 км. Для каждой такой ступени составляются годовые таблицы средних декадных температур воздуха. Для этой цели дополнение высоты ступени до 3,2 км умножается на 6,5 и результат прибавляется к температуре на станции Сары-Таш. Если рассматриваемая зона лежит выше 3,2 км, то соответствующая величина отнимается от температуры в Сары-Таше. Если вычисленная указанным способом температура воздуха в выбранной зоне окажется положительной, то декада считается теплой, если она будет отрицательной, то — холодной. Затем вычисляют снегозапасы данной высотной зоны (ступени) в данном гидрологическом году. Для этой цели подсчитывают количество осадков на опорной станции (Кызыл-Джар) за все холодные (в данной зоне) декады гидрологического года, умножают их на долевую площадь зоны и полученную сумму считают снегозапасами зоны (ступени). Складывая эти зональные снегозапасы, получают снегозапасы во всем водосборе в данном гидрологическом году (табл. 2).

Если обозначить через φ площадь данной зоны в долях от всей площади водосбора, а через v' — количество осадков в Кызыл-Джаре за все холодные в рассматриваемой зоне декады, то снегозапасы водосбора в данном году составляют

$$\bar{w} = \varphi_1 v_1' + \varphi_2 v_2' + \dots, \quad (12)$$

где значки при переменных означают номера зон.

Прodelав указанные вычисления за все годы наблюдений, получаем таблицу ежегодных значений снегозапасов в рассматриваемом водосборе.

Этот же результат получим, если изменим порядок вычисления. Раньше в первую очередь по осадкам всех декад гидрологического года определялись снегозапасы какой-то одной высотной зоны. Теперь сначала определим долю участия осадков одной какой-либо декады в формировании снегозапасов всех зон. По условию во внимание принимаются лишь осадки холодных декад, поэтому в снегозапасы войдут осадки на той части площади водосбора f_1 , которая лежит выше нулевой изотермы. Умножив на эту площадь количество осадков, выпавших в рассматриваемую декаду в Кызыл-Джаре, получим искомые снегозапасы, образованные осадками этой декады. Сложив эти декадные снегозапасы за все декады года, получим годовые снегозапасы водосбора в виде формулы

$$\bar{w} = f_1^{(1)} v_1 + f_1^{(2)} v_2 + \dots, \quad (13)$$

(1, 2... — порядковые номера календарных декад), в которой эти снегозапасы выступают как взвешенная сумма декадных количеств осадков в Кызыл-Джаре, причем за веса (коэффициенты) принята некоторая функция от средней декадной температуры воздуха в Сары-Таше $f_1(t)$.

Коэффициенты (площади) $f_1 = f_1(t)$ можно получить по обыкновенной гипсометрической кривой, у которой шкала высот заменена шкалой температуры. В табл. 1 они находятся в строке 5а и получаются путем суммирования чисел φ , помещенных в строке 4, справа налево. Числа φ с округлением до сотых переписаны в строку 5 и обозначены буквой φ_1 . Величины φ_1 являются зональными весами осадков, равными здесь

Многолетние средние зональные количества осадков в Кызыл-Джаре (v) за холодные декады

Месяц	Декада	Температура воздуха в Сары-Таше t град.	Количество осадков в Кызыл-Джаре v мм	Номер зоны																				Сумма по подосбору	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10												
				Температура в Сары-Таше, соответствующая 0° в зоне																					
				-14,3	-11,7	-9,1	-6,5	-3,9	-1,3	1,3	3,9	6,5	9,1												
				Площадь зоны φ																					
				0,049	0,096	0,108	0,158	0,179	0,157	0,120	0,085	0,036	0,012												
v	φv	v	φv	v	φv	v	φv	v	φv	v	φv	v	φv	v	φv	v	φv	v	φv	v	φv	Σv	$\Sigma \varphi v$		
VIII	1	10,5	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	2	9,9	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	3	8,1	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	0,07	6	0,07		
IX	1	6,7	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	0,02	2	0,02		
	2	5,4	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	0,22	6	0,07	12	0,29			
	3	2,7	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	0,17	2	0,07	2	0,02	6	0,26			
X	1	0,7	7	—	—	—	—	—	—	—	—	7	0,84	7	0,60	7	0,25	7	0,08	28	1,77				
	2	-1,4	12	—	—	—	—	—	—	12	1,90	12	1,44	12	1,02	12	0,43	12	0,14	60	4,93				
	3	-4,1	5	—	—	—	—	—	5	0,89	5	0,79	5	0,60	5	0,42	5	0,18	5	0,06	30	2,94			
XI	1	-7,6	11	—	—	—	—	11	1,74	11	1,97	11	1,74	11	1,32	11	0,94	11	0,40	11	0,13	77	8,24		
	2	-10,7	6	—	—	6	0,65	6	0,95	6	1,07	6	0,95	6	0,72	6	0,51	6	0,22	6	0,07	48	5,14		
	3	-12,1	14	—	—	14	1,34	14	1,51	14	2,21	14	2,51	14	2,21	14	1,68	14	1,19	14	0,50	14	0,17	126	13,3
XII	1	-12,6	12	—	—	12	1,15	12	1,30	12	1,90	12	2,15	12	1,90	12	1,44	12	1,02	12	0,43	12	0,14	108	11,4
	2	-15,2	7	7	0,34	7	0,67	7	0,76	7	1,11	7	1,25	7	1,11	7	0,84	7	0,60	7	0,25	7	0,08	70	7,01
	3	-16,6	13	13	0,64	13	1,25	13	1,41	13	2,05	13	2,33	13	2,06	13	1,56	13	1,11	13	0,47	13	0,16	130	13,0
I	1	-17,6	5	5	0,24	5	0,48	5	0,54	5	0,79	5	0,89	5	0,79	5	0,60	5	0,42	5	0,18	5	0,06	50	4,99
	2	-17,5	7	7	0,34	7	0,67	7	0,76	7	1,11	7	1,25	7	1,11	7	0,84	7	0,60	7	0,25	7	0,08	70	7,01
	3	-16,8	6	6	0,29	6	0,58	6	0,65	6	0,95	6	1,07	6	0,95	6	0,72	6	0,51	6	0,22	6	0,07	60	6,01

Месяц	Декада	Температура воздуха в Сары-Таше t град.	Количество осадков в Кызыл-Джаре v мм	Номер зоны																		Сумма по водо-сбору			
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10												
				Температура в Сары-Таше, соответствующая 0° в зоне																					
				-14,3	-11,7	-9,1	-6,5	-3,9	-1,3	1,3	3,9	6,5	9,1												
				Площадь зоны φ																					
				0,049	0,096	0,108	1,158	0,179	0,157	0,120	0,085	0,036	0,012												
v	φv	v	φv	v	φv	v	φv	v	φv	v	φv	v	φv	v	φv	v	φv	v	φv	v	φv	Σv	$\Sigma \varphi v$		
II	1	-15,8	6	6	0,29	6	0,58	6	0,65	6	0,95	6	1,07	6	0,95	6	0,72	6	0,51	6	0,22	6	0,07	60	6,01
	2	-14,9	9	9	0,44	9	0,86	9	0,97	9	1,42	9	1,61	9	1,42	9	1,08	9	0,76	9	0,32	9	0,11	90	8,99
	3	-12,9	8	—	—	8	0,77	8	0,86	8	1,27	8	1,43	8	1,27	8	0,96	8	0,68	8	0,29	8	0,10	72	7,63
III	1	-12,1	9	—	—	9	0,86	9	0,97	9	1,42	9	1,61	9	1,42	9	1,08	9	0,76	9	0,32	9	0,11	81	8,55
	2	-10,8	6	—	—	—	—	6	0,65	6	0,95	6	1,07	6	0,95	6	0,72	6	0,51	6	0,22	6	0,07	48	5,14
	3	-8,8	9	—	—	—	—	—	—	9	1,42	9	1,61	9	1,42	9	1,08	9	0,76	9	0,32	9	0,11	63	6,72
IV	1	-5,6	18	—	—	—	—	—	—	18	3,23	18	2,85	18	2,16	18	1,53	18	0,65	18	0,22	18	0,07	108	10,6
	2	-3,3	10	—	—	—	—	—	—	—	—	10	1,57	10	1,20	10	0,85	10	0,36	10	0,12	10	0,04	50	4,10
	3	-0,9	22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22	2,64	22	1,87	22	0,79	22	0,26	22	0,09	88	5,56
V	1	2,5	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	1,27	15	0,54	15	0,18	15	0,06	45	1,99
	2	3,6	18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18	1,53	18	0,65	18	0,22	18	0,08	54	2,40
	3	4,6	24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24	0,86	24	0,29	24	0,10	48	1,15
VI	1	5,5	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	0,54	15	0,18	15	0,06	30	0,72
	2	6,0	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16	0,58	16	0,19	16	0,07	32	0,77
	3	7,2	14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	0,17	14	0,05	14	0,17
VII	1	8,9	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12	0,14	12	0,14
	2	9,5	9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	3	10,5	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сумма			368	53	2,58	96	9,21	108	11,7	128	20,2	151	27,0	173	27,4	202	24,2	237	20,1	298	10,7	332	4,0	1778	157,0

Месячные коэффициенты f_1, f_2, f_3, f_4 к декадным осадкам в Кызыл-Джаре, полученные осреднением декадных коэффициентов (увеличены в 100 раз)

Год	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	Сумма	Среднее
f_1														
1946-47	1	5	22	85	97	100	95	73	26	8	4	0	516	43
1947-48	0	10	42	85	98	100	98	91	47	14	5	1	591	49
1948-49	0	9	32	83	97	98	98	82	42	8	6	1	556	46
1949-50	1	8	43	95	98	98	98	82	64	10	2	0	599	50
1950-51	0	10	36	95	100	98	95	86	36	13	6	2	577	48
1951-52	2	5	32	83	97	100	95	88	42	10	3	1	558	46
1952-53	0	8	32	73	94	100	88	85	48	8	2	0	538	45
1953-54	1	2	58	87	95	98	100	78	42	14	5	1	581	49
1954-55	1	6	30	77	98	100	97	73	73	17	4	2	578	48
1955-56	0	9	38	77	88	100	94	79	43	6	4	0	538	45
1956-57	0	4	30	70	98	100	100	87	58	21	4	1	573	48
1957-58	2	5	38	85	98	96	98	80	30	21	4	0	557	46
1958-59	3	6	36	90	85	100	100	76	38	20	2	0	556	46
1959-60	0	0	24	76	97	100	89	90	51	14	9	0	550	46
Среднее	1	6	35	83	96	99	96	82	46	13	4	1	562	
f_2														
1946-47	7	20	37	80	93	100	93	70	40	23	17	3	583	49
1947-48	0	20	50	80	97	100	97	87	53	30	20	7	641	53
1948-49	3	23	43	80	93	97	97	77	50	23	20	7	613	51
1949-50	7	23	50	93	97	97	97	77	63	27	13	0	644	54
1950-51	3	23	50	90	100	97	93	80	47	27	20	13	643	54
1951-52	7	20	43	80	93	100	90	83	50	27	13	7	613	51
1952-53	3	23	43	70	90	100	83	80	53	23	13	0	581	49
1953-54	10	13	60	83	93	97	100	77	50	30	20	10	643	54
1954-55	10	20	43	73	97	100	90	70	70	33	17	10	633	53
1955-56	3	23	47	73	83	100	90	73	50	20	17	0	579	48
1956-57	3	17	43	67	97	100	100	83	60	37	17	10	634	53
1957-58	7	20	47	80	97	93	97	77	43	37	17	0	614	51
1958-59	13	17	47	87	80	100	100	73	47	33	13	3	613	51
1959-60	0	3	37	73	93	100	83	87	57	30	20	3	586	49
Среднее	5	19	46	79	93	99	94	78	52	29	17	5	616	
f_3														
1946-47	1	7	28	90	98	100	97	79	33	11	5	1	550	46
1947-48	0	13	49	90	99	100	99	93	54	19	7	1	624	52
1948-49	1	13	39	88	98	99	99	87	49	11	9	1	594	50
1949-50	1	11	50	97	99	99	99	87	72	14	4	0	633	53
1950-51	1	14	43	97	100	99	97	90	43	17	9	4	614	51
1951-52	2	7	39	87	98	100	97	92	49	14	5	1	591	49
1952-53	1	11	39	80	96	100	92	90	55	11	4	0	579	48
1953-54	2	4	66	91	97	99	100	83	49	19	7	2	619	52
1954-55	2	9	38	82	99	100	96	80	80	23	5	3	617	51
1955-56	1	13	45	82	92	100	96	85	50	9	5	0	578	48
1956-57	1	5	38	77	99	100	100	91	66	27	5	2	611	51
1957-58	2	7	34	90	99	98	99	85	38	27	5	0	584	49
1958-59	5	8	43	93	90	100	100	82	45	25	4	1	596	49
1959-60	0	1	29	82	98	100	92	93	57	19	12	1	584	49
Среднее	1	9	41	87	97	99	97	87	53	18	6	1	596	

Год	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	Сумма	Среднее
f_A														
1946-47	0	5	37	93	99	100	96	87	44	10	3	0	574	48
1947-48	0	16	65	93	99	100	99	96	67	33	5	0	673	56
1948-49	0	13	47	92	99	99	99	93	65	10	8	0	625	52
1949-50	0	10	60	98	99	99	99	90	83	14	1	0	653	54
1950-51	0	16	62	98	100	99	96	93	62	20	8	1	655	55
1951-52	1	5	54	92	98	100	98	95	57	14	3	0	617	52
1952-53	0	10	54	87	96	100	95	93	68	10	1	0	614	51
1953-54	0	1	80	94	97	99	100	90	65	33	5	0	664	55
1954-55	0	8	52	89	99	100	96	87	87	26	3	1	648	54
1955-56	0	13	57	89	93	100	97	90	60	8	3	0	610	51
1956-57	0	3	52	86	99	100	100	94	80	34	3	0	651	54
1957-58	1	5	57	93	99	99	99	91	53	34	3	0	634	53
1958-59	3	3	62	96	93	100	100	89	57	32	1	0	636	53
1959-60	0	0	40	89	99	100	96	95	69	33	14	0	635	53
Среднее	0	8	56	92	98	100	98	92	66	22	4	0	636	

относительным площадям зон, т. е. $\psi_1 = \varphi_1$. Ниже будут рассмотрены случаи, когда $\psi \neq \varphi$.

Пусть температура воздуха в Сары-Таше во второй декаде ноября равнялась $-5,1^\circ$, тогда, согласно строке 3, во всех зонах, начиная с десятой и кончая пятой, эта декада будет холодной, в остальных она будет теплой. Суммируя площади (строка 4) этих шести зон, получаем искомую площадь, где происходило накопление снега, равную $f_1 = 0,59$.

Если площади высотных зон не учитывать, а для этого достаточно взять их одинаковыми, например, положив равными $\psi = 0,1$, то коэффициенты при декадных количествах осадков f_2 будут равны 1,0; 0,9; 0,8 и т. д. (строка 6 табл. 1). Замена коэффициентов f_1 (строка 5) на коэффициенты f_2 (строка 6) приводит к некоторому ослаблению влияния температуры воздуха на вычисленный снегозапас. Это видно из того, что первый коэффициент меняется в 100 раз, а второй — только в 10 раз. Эта замена равноценна увеличению роли нижних и верхних зон (ступеней), обладающих наименьшими площадями.

Коэффициенты f_1 (строка 5) будут иметь смысл коэффициентов стока, зависящих от температуры воздуха на станции Сары-Таш, если считать, что каждый раз на всех частях водосбора осадков выпадает столько же, сколько на опорной станции Кызыл-Джар, т. е. если осадки распределяются по территории водосбора равномерно. На самом деле количество осадков обычно возрастает с высотой местности. Предположим теперь, что это возрастание происходит по линейному закону и что в самой верхней зоне ($H = 4,6$ км) их выпадает в три раза больше, чем в самой нижней ($H = 0,6$ км), тогда веса f получаются следующим образом. Зональные площади φ (строка 4) умножаем соответственно на 0,6; 0,7; ... 1,4; 1,5 и произведения φ_3 последовательно суммируем, начиная с конца строки. Результаты подсчета f_3 , записанные в строку 7, показывают на уменьшение роли температуры воздуха по сравнению с ее ролью в коэффициентах f_1 (строка 5).

Значение коэффициентов f_1 , f_2 , f_3 в зависимости от температуры воздуха для наглядности приведены на рис. 1. Кривая f_1 представляет собой обычную гипсометрическую кривую, у которой шкала высот за-

менена шкалой температуры воздуха в Сары-Таше. Нуль этой шкалы соответствует высоте 3,2 км, а изменению температуры на $6,5^\circ$ отвечает изменение высоты на 1 км. На этом же графике, а также в табл. 1 приведены еще коэффициенты f_4 , аналогичные коэффициентам f_3 , отличающиеся от последних иным способом вычисления зональных количеств осадков (по методу Ш. А. Харшана), о чем будет сказано ниже.

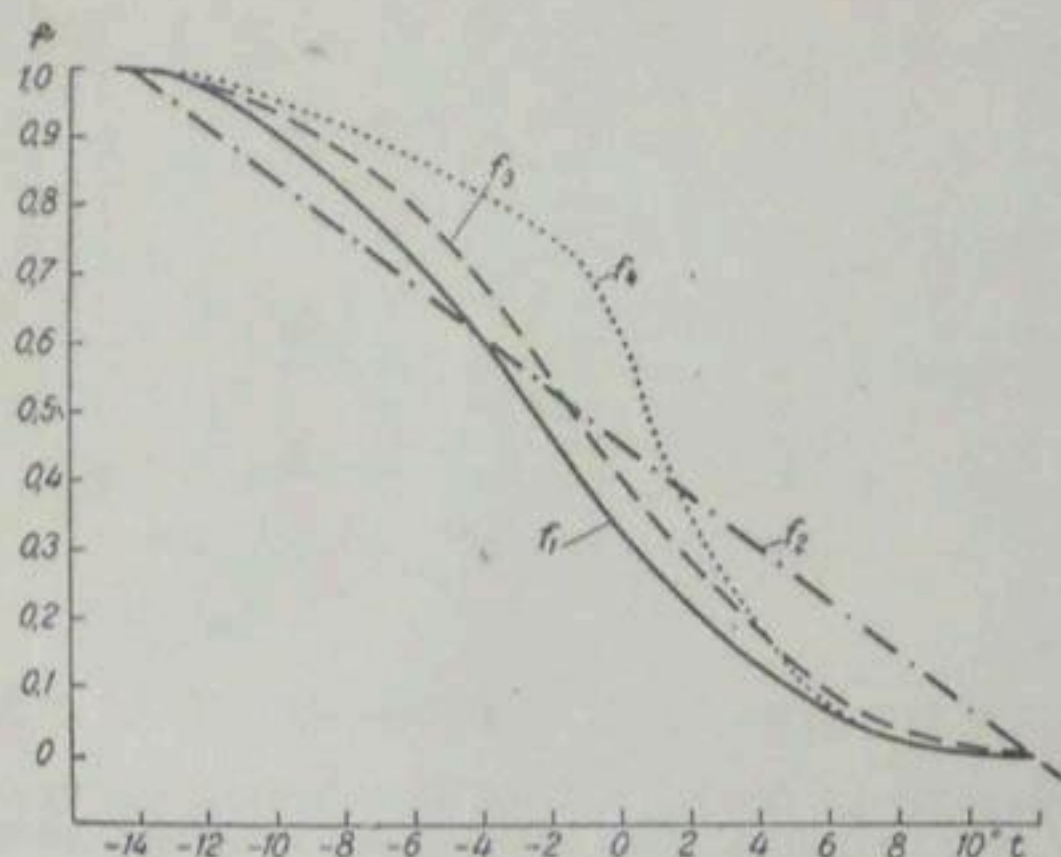


Рис. 1. Зависимость коэффициентов f при декадных количествах осадков в Кызыл-Джаре от средней декадной температуры воздуха в Сары-Таше t .

Результаты вычислений по многолетним средним величинам

Коэффициенты вычислены для всех декад в отдельности за 1946—1960 гг. по станции Кызыл-Джар. Эти коэффициенты, осредненные по месяцам, приводятся в табл. 3. Декадные коэффициенты умножены на соответствующие декадные суммы осадков в Кызыл-Джаре, и из них составлены месячные взвешенные суммы осадков (табл. 4).

Кроме того, были выполнены вычисления по формуле (13) сокращенным способом (не по декадным, а по месячным величинам). Сравнение тех и других показало следующее.

1. Связи между декадными и месячными величинами получились очень тесные, что дает основание взвешенные суммы осадков находить по месячным данным о температуре воздуха. Однако это следовало бы проверить на более обширном материале.

2. Детализация, т. е. определение коэффициентов f_1 , f_2 , f_3 , исходя из декадных, а не из месячных величин, приводит к существенному уменьшению как коэффициентов, так и самих годовых сумм осадков. Например, полагая месячный $f_1 = 0,51$, получаем по соответствующему графику декадный $f_1 = 0,47$, т. е. второй коэффициент меньше первого на 0,04, что составляет 36% многолетней амплитуды f , равной 0,11. Это обстоятельство должно сказаться на величине параметров, которые появятся в окончательных формулах, связывающих сток с количеством осадков, не затрагивая самой сути связей, так как постоянные составляющие связываемых величин не влияют на характер связей.

Месячные суммы осадков v в Кызыл-Джаре, полученные из взвешенных¹ декадных сумм

Год	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	Сумма
v													
1946-47	6	6	7	5	21	33	7	6	13	17	47	16	184
1947-48	3	14	25	41	31	9	35	15	70	71	22	15	351
1948-49	2	1	7	5	40	40	4	69	10	32	83	19	312
1949-50	77	24	1	8	59	10	3	3	56	55	48	16	360
1950-51	10	2	27	13	3	10	78	8	66	36	19	55	327
1951-52	2	24	136	88	20	2	16	29	88	51	52	53	561
1952-53	30	17	12	77	7	26	19	41	53	34	124	13	453
1953-54	28	7	19	85	36	25	16	11	18	72	41	71	429
1954-55	42	19	1	30	33	12	44	48	7	74	15	32	357
1955-56	4	13	7	18	96	23	27	14	10	122	13	1	348
1956-57	15	13	10	16	15	29	27	12	43	72	45	47	344
1957-58	10	7	17	21	8	22	7	22	224	50	32	9	429
1958-59	18	3	40	13	23	6	15	36	33	50	46	29	312
1959-60	22	0	21	6	47	11	30	19	20	56	53	16	301
Среднее	19,2	10,7	23,6	30,4	31,4	18,4	23,4	23,8	50,8	56,6	45,7	28	362
$f_1 v$													
1946-47	0	1	5	4	19	33	7	4	5	1	2	0	81
1947-48	0	1	10	35	29	8	34	15	36	10	1	0	179
1948-49	0	0	2	4	38	39	4	52	3	2	9	0	153
1949-50	1	2	0	7	57	10	3	2	33	5	1	0	121
1950-51	0	0	11	12	3	10	70	7	18	7	2	2	142
1951-52	0	1	44	59	19	2	15	25	49	4	2	0	220
1952-53	0	1	5	63	6	26	14	34	17	2	3	0	171
1953-54	0	0	12	66	35	24	16	8	8	7	2	1	179
1954-55	0	2	0	25	33	12	42	36	5	10	0	1	166
1955-56	0	2	3	14	88	23	24	12	3	8	0	0	177
1956-57	0	1	2	12	15	29	27	10	21	12	2	0	131
1957-58	0	0	8	16	8	21	7	18	75	8	1	0	162
1958-59	0	0	10	11	22	6	14	25	17	15	1	0	121
1959-60	0	0	6	4	46	11	26	16	6	7	5	0	127
Среднее	0,1	0,8	8,4	23,8	29,8	18,1	21,6	18,8	21,2	7,0	2,2	0,3	152
$f_2 v$													
1946-47	1	4	8	4	28	33	7	4	6	4	8	1	108
1947-48	0	3	13	33	27	8	33	14	39	21	5	2	198
1948-49	0	0	2	4	37	38	4	48	6	7	22	2	170
1949-50	7	5	1	7	55	9	3	2	34	13	6	0	142
1950-51	1	1	14	12	3	10	66	7	28	12	4	9	167
1951-52	0	3	60	58	18	2	14	24	51	12	9	5	256
1952-53	3	3	6	59	6	26	14	32	23	7	16	0	195
1953-54	3	1	12	62	35	24	16	8	9	18	8	7	203
1954-55	4	5	0	24	32	12	40	32	4	23	2	4	182
1955-56	0	4	4	13	83	23	23	11	4	26	2	0	193
1956-57	0	2	4	11	14	29	27	10	23	24	9	5	158
1957-58	1	2	9	15	8	20	7	17	101	16	4	0	200
1958-59	1	1	16	18	21	6	14	25	18	22	5	0	147
1959-60	0	0	9	4	44	11	24	16	9	16	11	1	145
Среднее	1,5	2,4	11,3	23,2	29,4	17,9	20,8	17,8	25,4	15,8	7,9	2,6	176

¹ За веса принимались числа 1, f_1 , f_2 , f_3 и f_4 .

Год	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	Сумма
-----	------	----	---	----	-----	---	----	-----	----	---	----	-----	-------

 f_{3v}

1946-47	0	1	6	4	19	33	7	4	6	13	3	0	96
1947-48	0	1	12	37	29	8	34	15	41	13	2	0	192
1948-49	0	0	2	4	39	39	4	57	4	3	12	0	164
1949-50	1	2	0	7	57	10	3	2	38	6	5	0	131
1950-51	0	0	13	13	3	10	70	7	23	9	2	3	153
1951-52	0	2	54	65	19	2	15	26	55	6	3	1	248
1952-53	1	1	6	67	6	26	14	36	21	3	4	0	185
1953-54	1	0	14	71	35	24	16	9	10	9	3	1	193
1954-55	1	2	0	26	33	12	42	37	5	14	1	1	174
1955-56	0	2	4	15	88	23	24	12	4	12	1	0	185
1956-57	0	1	4	13	15	29	27	11	24	16	3	1	144
1957-58	0	1	5	18	8	21	7	19	91	11	1	0	182
1958-59	0	1	13	11	22	6	14	28	20	18	1	0	134
1959-60	0	0	8	4	46	11	26	17	8	10	6	0	136
Среднее	0,3	1,0	10,0	25,4	30,0	18,2	21,6	20,0	25,0	10,2	3,4	0,5	165

 f_{4v}

1946-47	0	0	3	5	20	33	7	5	9	2	2	0	86
1947-48	0	1	18	39	29	8	35	15	50	15	1	0	211
1948-49	0	0	2	4	39	40	4	61	6	3	12	0	171
1949-50	0	1	1	8	58	10	3	2	45	6	1	0	135
1950-51	0	0	19	13	3	10	74	7	31	11	2	2	172
1951-52	0	1	76	75	20	2	16	27	61	5	2	0	285
1952-53	0	1	9	70	7	26	17	38	27	2	2	0	199
1953-54	0	0	15	76	36	25	16	10	13	9	2	0	202
1954-55	0	2	0	28	33	12	42	41	5	15	0	0	178
1955-56	0	2	5	16	93	23	25	13	5	11	0	0	193
1956-57	0	1	6	14	15	29	27	11	32	19	2	0	156
1957-58	0	0	13	19	8	22	7	20	129	13	1	0	232
1958-59	0	1	18	12	23	6	14	31	24	26	0	0	155
1959-60	0	0	11	5	47	11	28	18	19	11	8	0	148
Среднее	0	0,71	14,0	27,4	30,8	18,4	22,5	21,4	31,8	10,6	2,5	0,14	180

Из табл. 3 видно, что в зимнее время каждый из коэффициентов близок к единице, к осени и весне уменьшается, а летом снижается почти до нуля. Это значит, что, определяя снегозапасы путем подсчета осадков с весами f , тем самым принимаем, что единица осенних и весенних осадков в Кызыл-Джаре влияет на сток слабее, чем единица зимних. Далее таблица показывает, что зимние коэффициенты год от года меняются мало, а осенние и весенние — существенно. Это значит, что зимняя температура воздуха на вычисленные снегозапасы влияет слабо, но в осенние и весенние месяцы это влияние значительно, т. е. влияние единицы весенних и осенних осадков на сток в одни годы сильнее, в другие слабее. При первом подходе к вопросу, когда для характеристики стока берется простая сумма осадков за определенный календарный период, предполагается, что единицы весенних и осенних осадков влияют на сток одинаково с единицей зимних.

По расчету, в наиболее высоких зонах снег выпадает и летом, и поэтому начало гидрометеорологического года автор принял с 1 августа,

т. е. с момента начала понижения температуры воздуха. Однако взвешенные суммы осадков за август—сентябрь $\sum_{\text{VIII}}^{\text{IX}} f_1 v$ настолько малы и

связь между суммами осадков за август—июль и за октябрь—сентябрь настолько тесная (максимальная погрешность связи составляет 2 мм), что гидрометеорологический год без всякого ущерба для результата можно начинать с 1 октября, как это было сделано впервые Э. М. Ольдекопом и делается в настоящее время.

Аналогичная связь, построенная для сумм осадков с весами f_2 , оказалась также очень тесной, но слабее предыдущей. В 1949-50 и 1957-58 гг., когда в августе и сентябре выпадало довольно много осадков, сумма с октября по март оказалась приблизительно на 10% меньше суммы с августа по март; в этом случае сказалось игнорирование площадей самых высоких зон.

Сравнивая годовые (август—июль) суммы осадков, взятые с весами f_1 , f_2 и f_3 , получаем весьма тесные связи между ними, как это показывают коэффициенты корреляции¹:

Ошибки 1952 и 1958 гг.

$$\begin{array}{l} \sum_{\text{VIII}}^{\text{VII}} f_1 v \text{ с } \sum_{\text{VIII}}^{\text{VII}} f_3 v; \quad r' = 0,99; \quad 14 \quad \text{и} \quad 6 \text{ мм} \\ \sum_{\text{VIII}}^{\text{VII}} f_1 v \text{ с } \sum_{\text{VIII}}^{\text{VII}} f_2 v; \quad r' = 0,98; \quad 16 \quad \text{и} \quad 18 \text{ мм} \\ \sum_{\text{VIII}}^{\text{VII}} f_2 v \text{ с } \sum_{\text{VIII}}^{\text{VII}} f_3 v; \quad r' = 0,996; \quad 1 \quad \text{и} \quad 8 \text{ мм} \end{array}$$

Связи эти настолько тесные, что без большой погрешности одну взвешенную сумму осадков можно заменять другой. Коэффициенты (веса) f_1 , f_2 , f_3 при декадных суммах осадков сходны тем, что все они зависят от температуры той декады, в которую выпадали осадки; различие их в том, что коэффициентом f_2 учитывается только температура, коэффициентом f_1 , кроме температуры, учитывается распределение площадей по высотным зонам, а коэффициентом f_3 — еще и предполагаемое увеличение осадков с высотой. То, что коэффициенты корреляции получились высокие, указывает на малое влияние гипсометрии на результат.

Чтобы установить влияние температуры воздуха, была построена связь между $\sum_{\text{VIII}}^{\text{VII}} f_2 v$, т. е. величиной, в которой веса f_2 зависят только

от одной температуры воздуха, с простой суммой осадков $\sum_{\text{VIII}}^{\text{VII}} v$ (рис. 2 а). Связь получилась гораздо слабее предыдущих (коэффициент корреляции 0,91). Аналогичен результат связи $\sum_{\text{VIII}}^{\text{VII}} f_1 v$ с $\sum_{\text{VIII}}^{\text{VII}} v$ (рис. 2 б).

Таким образом, все три вышеописанные взвешенные суммы осадков в значительной степени зависят от температуры воздуха тех декад, в которые осадки выпадали, и мало зависят от характера гипсографических кривых.

¹ Здесь и далее коэффициенты корреляции вычисляются приближенными способами. Они обозначены r или r' в отличие от точных коэффициентов корреляции r .

Так как величина f_2^i , будучи множителем при осадках i -той декады, выступает в качестве своеобразного коэффициента стока (с точностью до произвольного постоянного множителя и слагаемого), зависящего от температуры воздуха той же декады, то в описываемом методе предполагается, что связь коэффициента стока с температурой воздуха в Сары-Таше за то же время, в которое выпадали осадки на опорной станции Кызыл-Джар, тесная. Сток в данном створе в период половодья будет тем больше, чем больше выпадало на данной опорной станции осадков в течение гидрометеорологического года и чем ниже была тем-

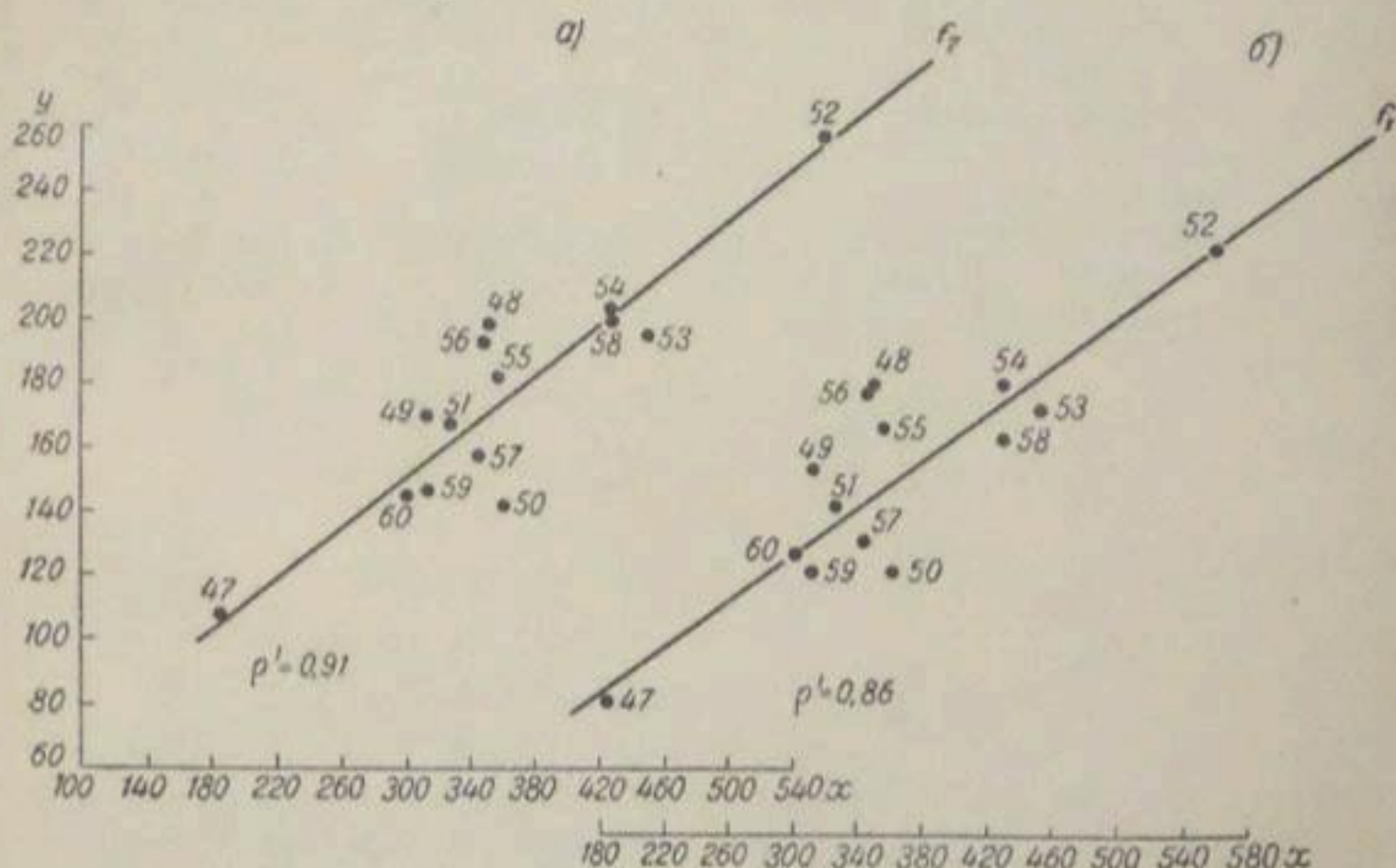


Рис. 2. Зависимость между годовыми (август—июль) взвешенными количествами осадков, взятыми с разными несамми.
а) $y = \sum f_2 v$, $x = \sum v$; б) $y = \sum f_2 v$, $x = \sum v$.

пература воздуха на этой же (или другой) опорной станции во время выпадения осадков. Насколько это соответствует действительности, здесь не рассматривается, а только интерпретируется метод.

Своеобразие f_2 как коэффициента стока заключается в том, что количество осадков, выпавшее на опорной станции, выступает в качестве представителя осадков всего водосбора.

Выше сравнивались взвешенные и простые годовые суммы осадков, не представляющие интереса для прогнозиста. Подобное сравнение для более коротких периодов (рис. 3) показало, что если не учитывать отдельные годы, теснота связей в общем возрастает с сокращением периода суммирования осадков (за счет отбрасывания осадков летних, а затем и весенних месяцев), как это показывают коэффициенты кор-

реляции между простыми $\sum_{x=1}^k v$ и взвешенными количествами осадков

$\sum_{x=1}^k f_1 v$, взятых с октября по июнь ($k=VI$), по май ($k=V$) и т. д.:

$r_{x-VI} = 0.86$, $r_{x-V} = 0.90$, $r_{x-IV} = 0.79$, $r_{x-III} = 0.99$ (без 1952 г.). Такое увеличение тесноты связи объясняется тем, что в зимние месяцы коэффициенты f_1 от месяца к месяцу меняются мало и близки к единице,

поэтому взвешенные суммы осадков за эти месяцы получились близкими к простым суммам; осенние же осадки за октябрь малы. Сказанным объясняется высокая теснота связи между простыми и взвешенными их суммами. В те же годы, когда в октябре выпадает большое количество осадков (коэффициент в этот месяц почти всегда бывает не-

большим), обычное соотношение между суммами осадков $\sum_{x=I}^{III} f_1 v$ и $\sum_{x=I}^{III} v$ нарушается и точка на графике (рис. 3 *г*) значительно отклоняется от

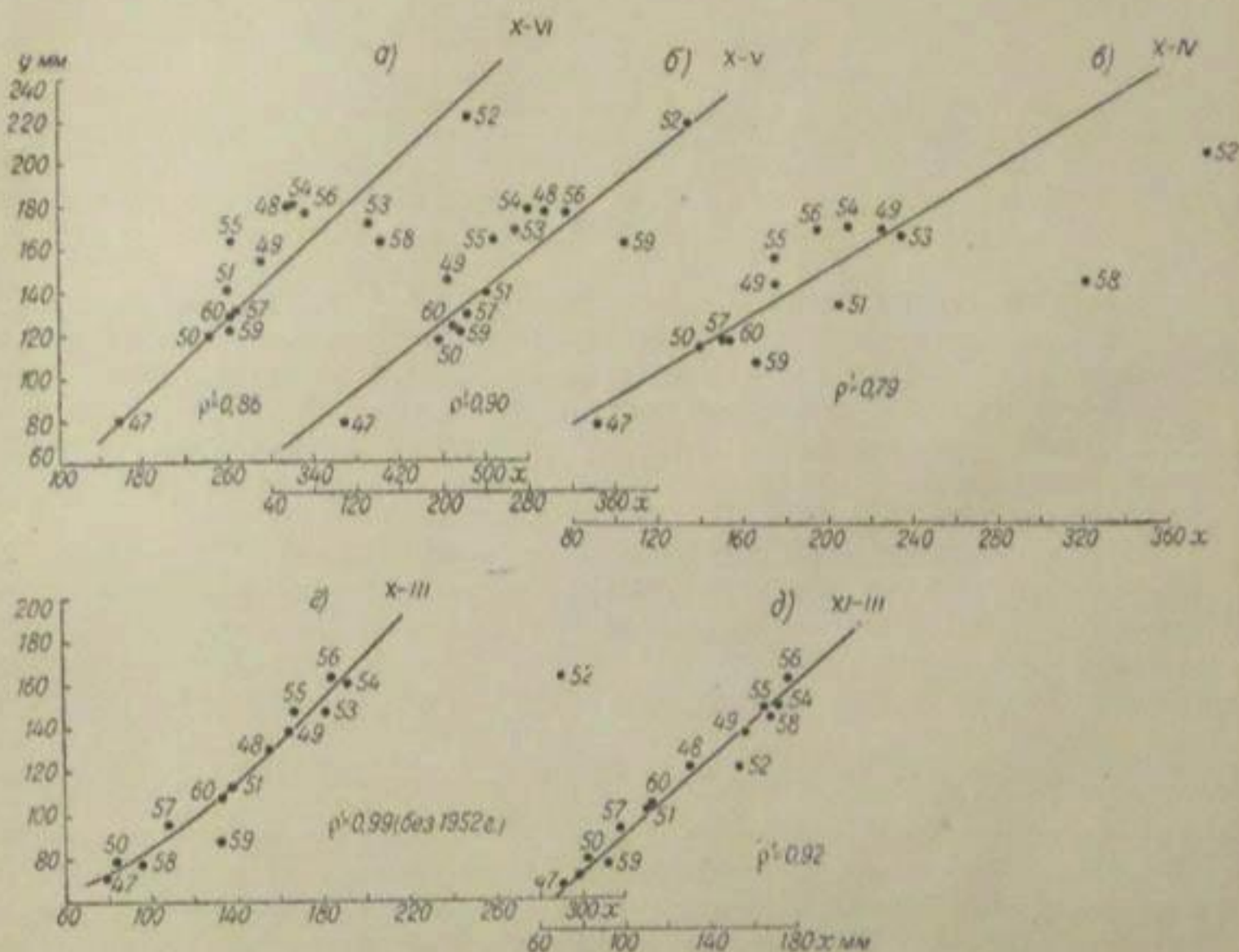


Рис. 3. Зависимость между простыми x и взвешенными y суммами осадков, взятыми за общие промежутки времени октябрь—июнь, октябрь—май, октябрь—апрель, октябрь—март и ноябрь—март. За веса приняты значения величины f_1 .

линии связи, как это было в 1951-52 г., когда в октябре 1951 г. выпало 136 мм осадков при норме 24 мм. Исключив из рассмотрения осадки октября, т. е. начав суммировать их с ноября, взамен графика (рис. 3 *г*) получили другой (рис. 3 *д*), на котором значительно отклоняющиеся точки отсутствовали. Как видим, далеко не безразлично, как это было с данными августа и сентября, брать ли осадки октября с большим или с малым весом. Уменьшение веса этих осадков до нуля привело к существенному изменению тесноты связи (рис. 3 *д*) по сравнению с той связью (рис. 3 *г*), где осадкам октября придавался сравнительно высокий вес. Из сказанного, однако, не следует, что суммирование осадков нужно начинать не с 1 октября, а с 1 ноября.

Выше были сопоставлены взвешенные и простые суммы осадков. Рассмотрим эти соотношения в целом по сводке коэффициентов корреляции (табл. 5).

Коэффициенты корреляции ρ' между различными суммами осадков

$\Sigma f v$	Период	VIII—VII			
		$\Sigma f_1 v$	$\Sigma f_2 v$	$\Sigma f_3 v$	$\Sigma f_4 v$
Σv	X—III	0,89	0,89	0,90	
Σv	X—IV	0,80	0,87	0,82	
Σv	X—V	0,91	0,94	0,92	
Σv	X—VI	0,86	0,93	0,90	
Σv	VIII—VII	0,86	0,91	0,89	0,91
$\Sigma f_1 v$	VIII—VII	1,00	0,98	0,99	0,89
$\Sigma f_2 v$	VIII—VII	0,98	1,00	0,996	0,98
$\Sigma f_3 v$	VIII—VII	0,99	0,996	1,00	0,97

Простые суммы осадков наиболее близки (с точностью до произвольных постоянных множителей и слагаемых) к взвешенным в том случае, когда весами служат величины f_2 ; затем следуют суммы, взвешенные по f_3 , и на последнем месте стоят суммы с коэффициентами f_1 . Это понятно из сказанного выше: коэффициент f_2 показывает влияние температуры на сумму осадков, так сказать, в чистом виде, f_1 усиливает это влияние, а f_3 несколько ослабляет его.

Замена «полных снегозапасов», т. е. взвешенных сумм осадков за гидрологический год (август—июль), их заменителями (простыми суммами осадков, взятых за неполный год) должна быть тем полнее, чем меньше этот период отличается от года. Однако это вполне законное предположение почти не подтверждается. Так, коэффициент корреляции годовой взвешенной суммы осадков $\sum_{\text{VIII}}^{\text{VII}} f_1 v$ с простыми суммами до-

стигает наибольшего значения тогда, когда осадки берутся с октября по май, за ним в порядке убывания следует коэффициент корреляции для осадков за октябрь—март, далее за октябрь—июнь и наконец за октябрь—апрель. Аналогичная картина наблюдается для сумм осадков, взятых с весами f_2 и f_3 . Отводя соответствующую роль случайности, следует все же констатировать, что для представления «истинных снегозапасов» всего водосбора Карадарьи можно в одинаковой мере использовать осадки Кызыл-Джара как за октябрь—июнь, так и за октябрь—март, считая, что осадки, выпадающие в апреле, мае и июне, никак не влияют на истинные снегозапасы. Но так как последнее неверно, то остается допустить, что вычисляемые автором снегозапасы далеки от истинных.

Насколько вычисленная величина снегозапасов близка к истинной, показывает сопоставление соответствующих сумм осадков со стоком р. Карадарьи. Соответствующая сводка коэффициентов корреляции сумм осадков со средним за вегетационный период расходом воды, вычисленных таким же приближенным способом, что и другие, ранее приводимые коэффициенты корреляции (табл. 6), показывает следующее:

1. Связи стока со взвешенными суммами осадков несколько теснее, чем с простыми суммами, однако разница величин коэффициентов корреляции несущественная, поэтому, возможно, случайная.

2. С уменьшением периода, за который суммируются осадки, уменьшаются и коэффициенты корреляции, но также несущественно. Замет-

ное уменьшение коэффициента корреляции наблюдается при переходе от суммы осадков за октябрь—апрель к сумме за октябрь—март. Однако если отбросить одну точку (1958 г.), когда в апреле было очень много осадков, то связь стока с осадками за октябрь—март становится чуть ли не самой тесной.

3. Прогноз стока за вегетационный период приходится составлять не позже первых чисел апреля, когда имеются данные о накоплении осадков только по март включительно. Данные первой строки табл. 6 показывают, что простая сумма осадков с октября по март включительно характеризует сток Карадарьи лучше, чем любая из взвешенных сумм осадков за тот же период.

Таблица 6

Коэффициенты корреляции ρ' между средним расходом воды Карадарьи за вегетационный период и суммами осадков

Период суммированных осадков	Веса осадков				
	1	f_1	f_2	f_3	f_4
X—III	0,82	0,76	0,77	0,79	0,81
X—IV	0,82	0,89	0,86	0,87	0,86
X—V	0,84	0,88			0,86
X—VI	0,88	0,92			
X—VII	0,86	0,89	0,87	0,87	
X—VIII	0,87	0,89		0,87	
VIII—VII	0,81	0,83	0,85	0,86	0,89
IV—IX	0,85				

Итак, в результате анализа использованных данных об осадках, температуре воздуха и расходе воды р. Карадарьи не доказано преимущество взвешенных сумм осадков, долженствующих изображать запас воды в снежном покрове водосбора Карадарьи, перед простыми суммами осадков при прогнозе ее стока. Сказанное в значительной мере выведено на основании коэффициентов корреляции ρ' , вычисленных приближенным способом. Поэтому может возникнуть опасение, не получится ли иной результат, если оперировать с точными значениями коэффициентов корреляции r . Данные табл. 7, в которой сравниваются некоторые коэффициенты корреляции, вычисленные разными способами, не подтверждают этого опасения.

Из всех взвешенных сумм осадков лучше всех должна (исходя из теории) отражать снегозапасы в водосборе та, в которой весами служили величины f_3 , учитывающие не только температуру воздуха, как в величине f_2 , и гипсографию, как в величине f_1 , но и увеличение количества осадков пропорционально высоте местности. Последнее в известной степени было произвольным допущением. Ш. А. Харшан коэффициенты типа f_3 подбирает с учетом распределения стока в течение года исходя из многолетних средних месячных расходов воды в реке. Эту работу проделал и автор, получив коэффициенты f_4 и соответствующие им взвешенные количества осадков, которые затем связал с расходами вегетационного периода. Данные табл. 6 указывают на отсутствие какого-либо преимущества коэффициентов f_4 перед коэффициентами остальных четырех типов, т. е. ранее высказанный тезис о том, что не доказано преимущество взвешенных сумм осадков, которые должны

изображать запасы воды в снежном покрове водосбора Карадарьи, перед простыми суммами осадков, остается в силе.

Таблица 7

Сравнение коэффициентов корреляции, вычисленных точно (r) и приближенными способами r' и p'

$\Sigma f v$	Период	$Q_{\text{вер}}$		
		r	r'	p'
Σv	X—III	0,69	0,72	0,82
	X—IV	0,84	0,70	0,78
	X—V	0,85	0,72	0,84
	X—VI	0,88	0,77	0,88
	X—VII	0,86	0,77	0,86
	X—VIII			0,87
	VIII—VII			0,79
$\Sigma f_1 v$	X—III	0,57	0,68	0,76
	X—IV	0,83	0,82	0,89
	X—V	0,82	0,80	0,88
	X—VI	0,83	0,83	0,92
	X—VII	0,83	0,83	0,89
$\Sigma f_4 v$	X—III	0,62	0,70	0,81
	X—IV	0,87	0,77	0,86
	X—V	0,87	0,76	0,86
	X—VI	0,87	0,78	0,89
	VIII—VII	0,87	0,78	0,89

Примечание. Сравниваются коэффициенты корреляции среднего расхода вегетационного периода $Q_{\text{вер}}$ с количеством осадков.

Расчет коэффициентов f представляет весьма важный раздел в работах Харшана, поэтому остановимся на этом подробнее, выполнив подробный расчет иначе (табл. 8), применительно к многолетним средним декадным расходам воды в Карадарье у Кампыр-Равата и температурам в Сары-Таше.

Расчет снеготазпасов по температуре воздуха, количеству осадков и расходам воды на опорных гидрометстанциях

В графе 8 табл. 8 приведена температура воздуха в Сары-Таше. Зональные температуры, помещенные в графах 9, 12, 15 и т. д., получены путем прибавления к температуре в Сары-Таше постоянных поправок на высоту местности. Зональные температуры умножением на $K = k\eta$ (коэффициент стаивания k равен 4 мм/град.сутки и коэффициент стока η равен 0,5), на площадь соответствующей высотной зоны и на число секунд в декаде переводились в максимально возможный декадный сток в млн. м³ (графы 10, 13, 16, ...). Это то количество воды, которое получилось бы от таяния снега в данной зоне, если бы снег в течение всей декады таял на всей площади зоны со средней интенсивностью, пропорциональной зональной температуре воздуха. Например, во второй декаде марта, когда температура воздуха в Сары-Таше составила 3,5°, сток за декаду в зоне № 1 мог бы достигнуть 42 млн. м³, в зоне № 2 он составил бы 21 млн. м³, и наконец в зоне № 3 сток был бы равен нулю, так как температура была отрицательной.

Расчет снеговалаза для р. Карадары по многолетней средней декадной температуре воздуха в Сары-Таше
 $F = 12400 \text{ кН}; \eta = 0,5; \lambda = 4 \text{ мм/град. сутки}; \alpha = 0,02$

Во второй декаде февраля и ранее стока вовсе не должно быть, так как во всех высотных зонах температура воздуха была отрицательной. На самом деле средний расход в реке в эту декаду составил $42 \text{ м}^3/\text{сек.}$ (графа 3), очевидно, за счет «прошлогодней» подземной воды. Эту прошлогоднюю воду автор исключил, уменьшив все расходы (графа 3) на $41 \text{ м}^3/\text{сек.}$, и результат записал в графу 4. Расход $41 \text{ м}^3/\text{сек.}$ является наименьшим многолетним средним декадным расходом и приходится на первую декаду февраля.

После уменьшения на $41 \text{ м}^3/\text{сек.}$ расход за вторую декаду февраля становится равным $1 \text{ м}^3/\text{сек.}$ — числу небольшому, но все же отличному от нуля, которому он должен быть равен, так как температура на всем водосборе была отрицательной. Невязка получилась, очевидно, из-за несовершенства теории.

В третьей декаде сентября, судя по всему, питание талыми водами отсутствует, но средний расход воды за вычетом $41 \text{ м}^3/\text{сек.}$ прошлогодней воды составил $32 \text{ м}^3/\text{сек.}$ (графа 4), а объем стока $28 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ (графа 5). Остается предположить, что эти $28 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ раньше находились в недрах водосбора и теперь стекли. В соответствии с этим будем считать, что в третью декаду сентября поверхностного стока не было (нуль в графе 7), а $28 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ представляют нынешнюю подземную воду (графа 6). За вторую декаду сентября нынешний подземный сток должен быть еще больше; автор принял его равным 29 млн. м^3 (графа 6), а остаток 5 млн. м^3 записал в графу 7 как поверхностный сток. За первую декаду сентября подземный сток принят равным 31, отчего на поверхностный пришлось 13 единиц, и т. д. Числа графы 6 взяты приблизительно, по опыту. Легко понять, что в водосборе реки, на его поверхности и в его недрах, всегда имеется некоторое количество воды, которое беспрестанно пополняется и расходуется. Если первое преобладает над вторым, расход воды в реке увеличивается, в обратном случае он уменьшается. Предполагалось, что с третьей декады февраля до третьей декады июня включительно происходило пополнение водосбора водой, т. е. преобладал приток воды в водосбор над его стоком в реку (положительные величины в графе 6), а с первой декады июля, наоборот, преобладала отдача (отрицательные величины в графе 6). Этот зарегулированный сток будем называть грунтовым или подземным, так как регулирование стока происходит преимущественно в недрах водосбора, а не на его поверхности.

Погрузившийся сток (292 млн. м^3) получился почти равным выклинившемуся до третьей декады сентября (270 млн. м^3), хотя первый должен быть существенно больше второго. Вообще расчеты, произведенные автором, грубы. В частности, был завышен подземный сток прошлогодней воды. Например, в третьей декаде сентября он должен составлять не $41 \text{ м}^3/\text{сек.}$, как в первой декаде февраля, а значительно меньше, так как с февраля по сентябрь этот «базисный» подземный сток должен был уменьшаться, автор же считал его неизменным. Из-за этого грунтовой сток за рассматриваемую декаду, образованный талыми водами за прошлые теплые декады того же года, должен быть не 28 млн. м^3 , а больше. По этой же причине он должен быть больше и в остальные декады сентября, августа и июля. Далее, не был учтен подземный сток за октябрь, ноябрь и другие последующие месяцы, образованный теми же «нынешними» водами. Однако эти «тонкости» пока учитывать не будем, имея в виду, что другие авторы (например, Ш. А. Харшан) совсем не учитывают регулирующего влияния водосбора на сток.

В третьей декаде февраля возможный сток теоретически составляет 17 млн. м^3 (графа 10), притом только за счет зоны № 1, так как в бо-

лее высоких зонах наблюдается отрицательная температура и снег не тает. Но сток, согласно графе 7, был равен только 6 млн. м³, включая сюда и ту воду, которая поступила в грунт и впоследствии должна выклинить в русло реки. Следовательно, оставшиеся 11 млн. м³ не будут доданы потому, что снег таял не всю декаду, а только часть ее, т. е. снег успел растаять не за десять, а за меньшее число дней и дал 6 млн. м³ (графа 11).

В первой декаде марта таяние могло быть только в зоне № 1 и могло дать 27 млн. м³. Но, как следует из сказанного, снег в зоне № 1 растаял уже в прошлой декаде и, следовательно, в данной декаде стока не должно быть. На самом деле он наблюдался в размере 9 млн. м³. Откуда же взялась вода? Очевидно, теория неправильная и нужно допустить, что снег в зоне № 1 в третью декаду февраля стаял не целиком, а частично и дотаяивал в первую декаду марта. Это могло случиться, если снег стаял с образованием проталин, т. е. с течением времени уменьшалась не только толщина слоя, но и площадь тающего снега, из-за чего из возможных 17 млн. м³ стаяло только 6 млн. м³ (в пересчете на количество воды), остальной снег дотаяивал в первой декаде марта (а возможно, и в более позднее время) и дал 9 млн. м³ (графа 11).

Во второй декаде марта снег мог таять в первых двух зонах, причем сток, равный 17 млн. м³, может быть обеспечен таянием снега в зоне № 2, где возможный сток составляет 21 млн. м³, поэтому можно предположить, что сток (поверхностный и подземный) с зоны № 1 отсутствовал. В таком случае в графу 11 вписывается нуль, а в графу 14 число 17.

Сток 31 млн. м³ в третьей декаде марта получаем путем сложения всего возможного стока: 8 млн. м³ из зоны № 3 (графа 17) и 23 млн. м³ из зоны № 2 (графа 14). Аналогичным образом поступаем с распределением стока в остальные декады. Так, сток первой декады июня складывается из возможного стока полностью зон № 8 и 7 и частично зоны № 6 (графы 32, 29, 26). Далее переходим к подсчету итогов за весь период, записывая результаты внизу таблицы.

Подсчитав суммы p , получим полный сток (поверхностный и подземный) с каждой высотной зоны в млн. м³, обусловленный талыми водами, образованными с третьей декады февраля по третью декаду сентября включительно (строка 1 внизу таблицы). Разделив его на зональную площадь (строка 2), получим тот же сток, но выраженный в миллиметрах слоя (строка 3), откуда делением на коэффициент стока, равный 0,5, найдем «запас снега» в миллиметрах по каждой зоне (строка 4). Последняя величина была найдена ранее по данным об осадках в Кызыл-Джаре и температуре воздуха в Сары-Таше (см. табл. 2). Записываем ее в строку 5. Отношение первой величины ко второй g , записанное в строку 6, должно показывать, во сколько раз истинные запасы снега w_0 в зоне больше снегозапасов, вычисленных по данным об осадках, измеренных на станции Кызыл-Джар w_s (строка 5). Последнее, как указывалось выше, вычислялись в предположении, что осадков по всему бассейну Карадарьи выпадает столько же, сколько их наблюдается в Кызыл-Джаре. Значит, величина g (по теории) является коэффициентом перехода от осадков Кызыл-Джара к осадкам высотных зон.

Рассматривая величину g , прежде всего замечаем, что она уменьшается от зоны № 1 к зонам № 2 и 3, а затем снова возрастает, что несомненно является делом случая, а поэтому сглаживаем ее и результат сглаживания записываем в строку 6а. Чтобы получить снегозапасы в какой-либо зоне по данным об осадках в Кызыл-Джаре, нужно сумму

осадков за холодные (в зоне) декады умножить на долевую площадь зоны φ и на величину g' , так что зональный коэффициент при осадках будет равен $\varphi_4 = g' \varphi$ (строка 7). Если же теперь последние величины последовательно суммировать начиная с зоны 10 и полученные суммы делить на 2,15 (сумма произведений $g' \varphi$), то получим коэффициенты f_4 (строка 9), являющиеся аналогами коэффициентов f_3 .

После этого были вычислены декадные, а затем месячные (табл. 4) снегозапасы за каждый год с учетом коэффициента f_4 . Полученные ежегодные снегозапасы нового типа были связаны с расходами вегетационного периода.

Коэффициенты корреляции (см. табл. 5, 6, 7) не показывают какого-либо преимущества коэффициента f_4 перед другими коэффициентами, т. е. снова подтверждается нецелесообразность подсчета взвешенных сумм осадков в Кызыл-Джаре взамен простых сумм, когда за веса принимаются числа типа f_1 , f_2 , f_3 и f_4 с целью получения наиболее тесных связей осадков со стоком. Проще брать количество осадков с октября, если не будет найдено каких-то иных способов осреднения осадков.

Вернемся к табл. 8. Снегозапасы (строка 4) зоны № 3 (высота 1,8 км) явно занижены, они меньше, чем даже в зоне № 1. Это обстоятельство получилось случайно, в результате особого сочетания температуры воздуха и стока в первую декаду апреля и третью декаду марта и характеризует несовершенство метода расчета. Снегозапасы зоны № 10 также сильно занижены, но уже не случайно, а в силу метода его расчета. Тепла оказалось недостаточно, чтобы растопить достаточное количество снега. Это — зона оледенения, откуда, по теории, влага транспортируется преимущественно движением ледников. Таким образом, рассматриваемый метод позволяет (если он вообще что-либо позволяет) рассчитывать не истинное максимальное количество снега в горах, а лишь ту часть снегозапасов, которая может стаять и стечь. То же самое хотя бы отчасти должно относиться и к зоне № 9, где в каждую декаду, по расчету, стаявало максимально возможное при данной температуре количество снега, а поэтому нет основания полагать, что снег в этой зоне весь стаял. Но если часть снега из верхних зон переносится ледниками в ниже лежащие зоны, то сток нижних зон должен быть больше действительного накопления, что как будто бы и отражается в повышенной заснеженности зон № 6 и 7.

Таким образом, и в этом рассматриваемая теория не выдерживает критики. Сказанное также отражается в числах g , которые должны показывать, во сколько раз больше выпадает осадков в данной зоне, чем на станции Кызыл-Джар. Например (строка 6), на высоте 4,6 км осадков, по расчету, выпадает в два раза меньше, а на высоте 3,4 км в четыре раза больше, чем на станции Кызыл-Джар (табл. 9), что невероятно.

Легко видеть, что результаты подсчета по форме табл. 8 в значительной степени зависят от того, каким назначено произведение $K = k\alpha$ (коэффициента стаявания k на коэффициент стока α). Для выявления этого влияния был сделан пересчет табл. 8 при двух новых значениях коэффициента K : в два раза больше (коэффициент стока $\alpha = 1$) и в два раза меньше (коэффициент стока $\alpha = 0,25$). Сравнительные результаты этого пересчета показаны в табл. 9, из которой видно, что в зависимости от величины K меняется не только абсолютная величина снегозапасов, но и распределение их по высотным зонам. С увеличением этого коэффициента увеличивается доля снегозапасов высоких зон за счет уменьшения ее в низких зонах. В пределах почти все снегозапасы должны сконцентрироваться в зонах № 9 и 10. Но это значило бы, что

Сравнение снегозапасов w и коэффициентов f , вычисленных разными способами

Снего-запасы	Коэффициент стока	Номер и высота зоны, км										Сумма
		№ 1—1,0	№ 2—1,4	№ 3—1,8	№ 4—2,2	№ 5—2,6	№ 6—3,0	№ 7—3,4	№ 8—3,8	№ 9—4,2	№ 10—4,6	
		Температура в Сары-Таше при 0° в зоне										
		—14,3	—11,7	—9,1	—6,5	—3,9	—1,3	1,3	3,9	6,5	9,1	
w мм	—	0	0	33	$\frac{63}{78}$	$\frac{80}{122}$	$\frac{95}{—}$					
w_v мм	—	53	96	107	128	151	173	202	237	298	332	1777
w_Q мм	0,25	144	124	228	320	684	1336	1240	1400	768	160	6404
w_Q мм	0,50	50	68	44	120	164	664	856	928	770	174	3838
w_Q мм	1,00	25	27	12	64	77	156	556	510	690	161	2278
w_v ‰	—	3	5	6	7	8	10	12	13	17	19	100
w_Q ‰	0,25	2	2	4	5	11	21	19	22	12	2	100
w_Q ‰	0,50	1	2	2	3	4	17	22	24	20	5	100
w_Q ‰	1,00	1	1	1	3	3	7	25	22	30	7	100
$100 f_4$	0,25	100	97	94	89	80	61	32	14	2	0	
$100 f_4$	0,50	100	98	93	88	81	72	42	19	5	0	
$100 f_4$	1,00	100	98	93	88	81	72	59	28	9	1	
По методу Дмитриевой												
$100 f_4$	0,50	100	96	95	91	83	73	43	19	4	0	
w_Q	0,50	86	52	84	128	172	696	830	868	672	0	
w_Q ‰	0,50	2	2	2	4	5	19	23	24	19	0	
Без учета естественного регулирования												
$w_Q^{(5)}$	0,5	224	120	80	130	156	674	1032	1636	770	174	
$100 f_5$	0,5	100	92	88	85	79	71	47	24	4	0	

осадки, выпадающие в Кызыл-Джаре при температуре в Сары-Таше 6,5° и ниже, должны браться с коэффициентом $f_4=1$. А так как температура воздуха в Сары-Таше выше 6,5° наблюдается только летом, то это значило бы, что для расчета снегозапасов по осадкам осени, зимы и весны эти осадки пришлось бы брать с одинаковыми весами, т. е. брать простые (а не взвешенные) суммы осадков. Таким образом, как это и видно из сводки коэффициентов f (табл. 9), задаваясь малыми значениями коэффициента стока, мы тем самым увеличиваем роль осадков теплого времени года в формировании снегозапасов водосбора и наоборот, назначая все большие и большие коэффициенты стока, тем самым все более и более уменьшаем значение осадков теплого времени года.

При расчете было «забыто» об изменении расхода прошлогодней воды, этот расход считается постоянным для всего расчетного сезона и равным $41 \text{ м}^3/\text{сек}$. На самом деле эта прошлогодняя вода иссякает, и убыль ее должна быть восстановлена за счет нынешней воды. Поэтому в графу 7 табл. 8 должны быть внесены соответствующие коррективы. Однако уже сейчас видно, что этим делу не поможешь, вся схема нуждается в пересмотре. Помимо учета регулирования стока водосбором,

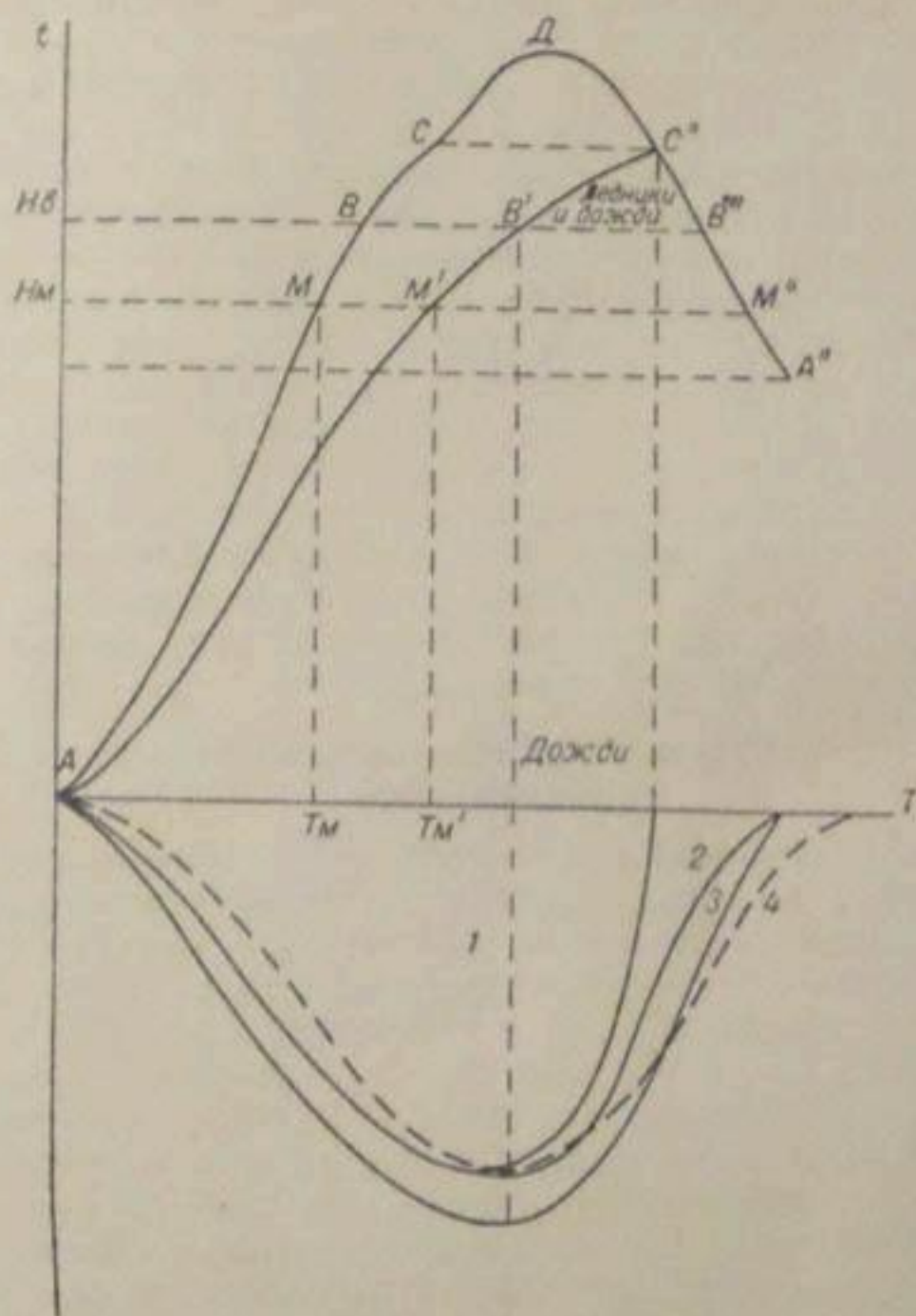


Рис. 4. Схема образования талых вод и стекания дождевых и талых вод.

1 — снеговая вода; 2 — ледниковая вода; 3 — дождевая вода; 4 — линия гидрографа, на котором отражено естественное регулирование стока.

неравномерности распределения снега и льда по территории и неравномерности его таяния, о чем упоминалось ранее, необходимо учитывать также и жидкие осадки.

Схему образования и стока талых вод можно представить себе следующим образом (рис. 4). Линия $AMBCDC''B''M''A''$ — это температура воздуха на станции, расположенной в самой нижней точке водосбора. Каждой точке M этой линии отвечает определенная высота местности H_M , на которой в момент времени T_M температура воздуха равна нулю, т. е. указанная линия $ABC \dots$ изображает также ход высоты нулевой изотермы во времени, иначе — это хронологический график высоты фронта снеготаяния. Снег на данной высоте H_M через некоторое

время $T_M T_{M'} = MM'$ к моменту $T_{M'}$ ставится. Определив для каждой высоты время таяния сезонного снега, можно построить хронологический график высоты тла снеготаяния $AM'B'C''$. При отсутствии ледников снеготаяние должно резко обрываться на спаде кривой температуры в некоторой точке C'' вблизи вершины кривой. Гидрограф талых вод должен был бы получиться пологим на подъеме и крутым на спаде (см. нижнюю часть рис. 4). Если в бассейне имеются ледники, нижняя граница которых находится на высоте H_n , то таяние на этой большой высоте должно продолжаться весь промежуток времени от перехода температуры воздуха через нуль в точке B при ее повышении весной до обратного перехода через нуль осенью в точке B'' . Весь промежуток времени, ограниченный линией тла снеготаяния и нисходящей ветвью графика температуры, сток должны давать дождевые воды. Соответствующие гидрографы приводятся в нижней части графика. Их пересекает линия действительного гидрографа, проведенная с учетом естественного регулирования стока водосбора. Процесс образования стока, как видим, и на схеме представляется весьма сложным. Для реализации этой схемы нужно предварительно решить ряд сложных задач, как-то: выявить законы регулирования стока, найти закон распределения водности снежного покрова по территории (для того чтобы найти закон убывания площади тающего снега) и т. д. Откладывая решение поставленных задач на будущее, перейдем теперь к имеющимся схемам использования прогнозами гидрометеорологических данных.

Рассмотрим работу Ш. А. Харшана [9].

Расчет по Ш. А. Харшану. Определение и изменение границы сезонного снега

Прежде всего названный автор игнорирует естественное регулирование стока, ввиду чего вычисленные распределения снеготаяния по высотным зонам и тем самым коэффициенты f становятся иными. Еще более увеличивается концентрация снеготаяния в зонах № 8 и 9 по сравнению с расчетом по табл. 8 и возрастает значение самой низкой зоны (см. табл. 9), а расчет в целом становится еще менее правдоподобным. Если из наблюдаемого стока не исключать грунтовую воду, образованию в более раннее время, то трудно понять, почему весной и осенью сток реки превышает приток в нее талых вод.

Далее Харшан придает большое значение вычислению высоты сезонной снеговой границы, которая является необходимым элементом в его расчетах. По его словам: «Без учета высоты снеговой линии невозможно производить сколько-нибудь обоснованные расчеты составляющих водного баланса горной реки в период смешанного питания» [9]. Мы, как было показано выше, обошлись без вычисления этой границы. В схеме расчета (см. табл. 8) водосбор представлен в виде ступенчатой поверхности, а высоту границы снега заменяет указание на номер или высоту самой нижней зоны, не лишенной снега. Сама высота определяется без труда из табл. 8, в которой она выписана в графе 39. Рядом (графа 40) помещена высота самой высокой зоны, имеющей положительную температуру воздуха, т. е. зоны, где находится верхняя граница снеготаяния данной декады. Границы начала и конца таяния помещены в строках 10 и 11 табл. 8.

Для вычисления высоты снеговой линии разными авторами иногда рекомендуется использовать не весь гидрограф, как это было сделано в табл. 8, а отдельные части его за те промежутки времени, в которые дождевой сток отсутствовал. Это делается в том случае, когда дождевое питание нельзя не учитывать. В этом случае приходится обрабаты-

вать данные за многолетний период, рассматривая по несколько случаев в каждом году. Чтобы найти высоту снеговой границы, берут среднюю за бездождное время температуру воздуха на опорной метеорологической станции и пересчитывают ее в зональные температуры, которые умножают на переходные коэффициенты K_4 , и в результате получают возможный сток на всех высотных зонах, который потом суммируют начиная с наиболее высоких зон до тех пор, пока не накопится соответствующая сумма, равная наблюдаемому стоку за рассматриваемый период (со сдвижкой на время добегания). Высота зоны, где прекратилось суммирование, или высота соседней, следующей ниже зоны и принимается за границу снега, которая относится ко дню, являющемуся серединой указанного промежутка времени. Харшан для облегчения вычисления пользовался номограммой, связывающей высоту снеговой границы, температуру воздуха на опорной станции и средний рас-

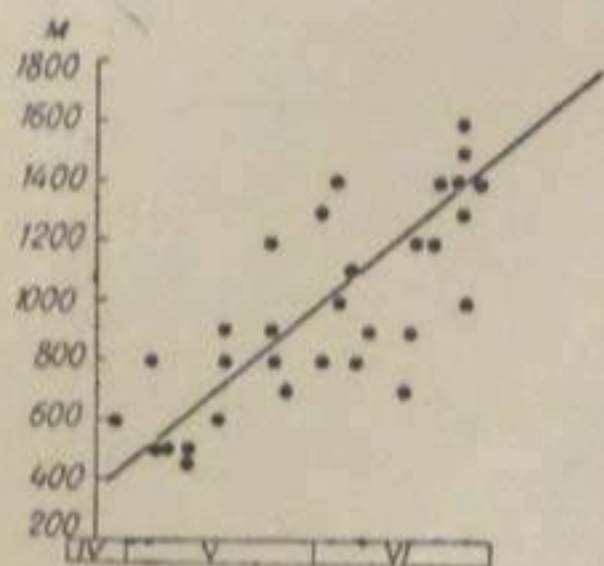


Рис. 5. Годовой ход высоты снеговой линии в бассейне р. Тубы (по Ш. А. Харшану).

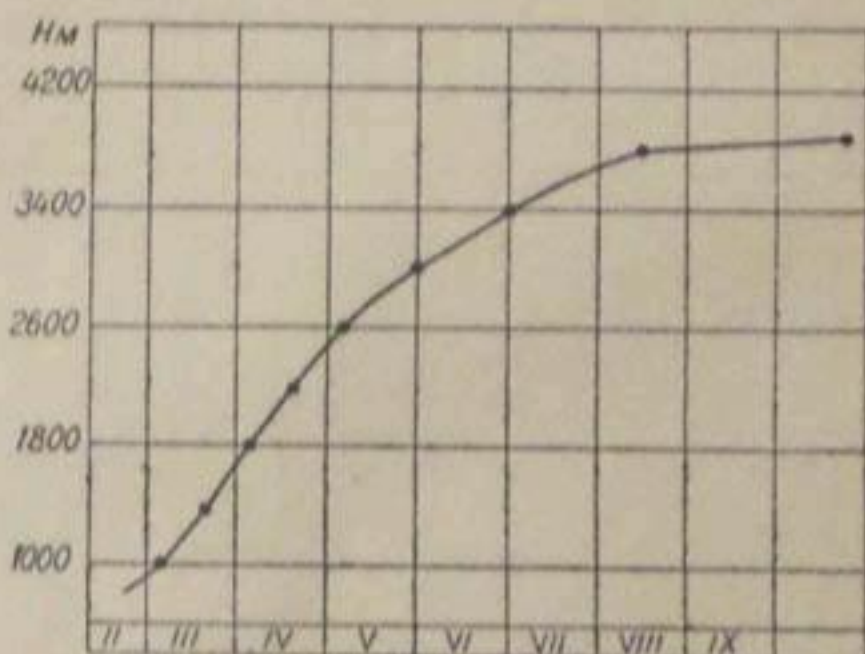


Рис. 6. Годовой ход высоты снеговой линии в бассейне р. Карадары.

ход воды. Эту номограмму можно построить, например, по данным табл. 8, если заменить числа, стоящие в графах, помеченных af , их нарастающими суммами и если суммирование по каждой строке вести справа налево. Однако особой надобности в построении такой номограммы нет. Для вычисления высоты границы снега можно воспользоваться формой табл. 8, если в графы 3 и 8 записать расходы и температуры не за календарные декады, а за промежутки времени без дождей.

Нанеся на координатную плоскость точки с координатами вычисленной высоты снеговой линии и соответствующих ей дат, проводят линию связи, которую рассматривают в качестве хронологического графика многолетней средней высоты снеговой линии и основы для дальнейших расчетов. Связь, построенная по данным таблицы Харшана для р. Тубы за 15 лет по 32 точкам, как и следовало ожидать, получилась слабой (рис. 5). Для каждого года здесь получается по несколько точек, соответствующих промежуткам времени без дождей.

Аналогичный график, построенный по данным табл. 8 (графа 39), приведен на рис. 6, а расчет по нему «зональных» снегозапасов — в табл. 10. При определении координат графика задавались средней высотой зоны, а дату схода снега на этой высоте получали как среднее из дат, соответствующих этой высоте, взятых из графы 39 табл. 8.

Например, для высоты 3,0 км средняя дата приходится на стык третьей декады мая и первой декады июня; принимаем 31 мая. Графа 5 табл. 10 заполнялась по данным таблицы многолетних средних суточных температур воздуха в Сары-Таше, специально составленной для этого по многолетним средним величинам.

Таблица 10

Вычисление зональных снегозапасов по данным о снеговой линии

№ зоны	Ее средняя высота H , км	Дата стаяния снега на высоте H по рис. 6	Дата прекращения таяния из-за снижения температуры на высоте H	Дата начала таяния снега на высоте H	Сумма температур за время таяния		Слой стаявшего снега при коэффициенте стаявания 4 мм/град.		Слой стаявшего снега, согласно табл. 8, w_Q мм		Объем стаявшего снега			
											по высоте снеговой линии		по табл. 8	
					в Сары-Таше	на высоте H	мм	‰	мм	‰	10^6 м^3	‰	10^6 м^3	‰
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1,0	5/III	—	18/II	—209	20	80	2	50	1	48	1	30	1
2	1,4	20/III	—	9/III	—130	10	40	1	68	2	48	1	80	2
3	1,8	5/IV	—	24/III	—96	22	88	2	44	2	118	2	60	1
4	2,2	20/IV	—	2/IV	—80	44	176	4	120	3	345	6	236	5
5	2,6	5/V	—	12/IV	—24	70	280	6	164	4	622	11	364	8
6	3,0	31/V	—	23/IV	108	159	636	14	664	17	1239	21	1294	28
7	3,4	30/VI	—	1/V	300	221	884	20	856	22	1319	22	1278	27
8	3,8	15/VIII	—	18/V	705	354	1416	31	928	24	1490	25	974	20
9	4,2	—	5/IX	19/VI	710	196	784	17	770	20	635	11	344	7
10	4,6	—	20/VIII	9/VII	430	39	156	3	174	5	23	0	26	1
							4540	100	3838	100	5887	100	4686	100

Рисунок 6 можно было бы построить и по данным строки 11. Задаваясь средней высотой зоны (графа 2, табл. 10), по графику (см. рис. 6) находили дату стаяния снега в зоне (графа 3). Для наиболее высоких зон, где, по расчету, снег не успевал стаять, за дату прекращения снеготаяния принимался момент перехода температуры воздуха через нуль в отрицательную сторону (графа 4). В графе 5 записывалась дата начала таяния снега в зоне, за которую принимался момент перехода зональной температуры через нуль в положительную сторону. После этого за период теплой погоды, т. е. за промежуток времени между сроками, показанными в графах 5 и 3 (4), находилась сумма положительных температур в зоне (графа 7), которая умножалась на коэффициент стаявания 4 мм/град. сутки, и результат в виде слоя стаявшего снега (в пересчете на воду) записывался в графе 8. Для подсчета сумм «тепла» (графа 7) пришлось вычислить ежедневные многолетние средние температуры воздуха на ст. Сары-Таш путем прямой интерполяции между средними декадными температурами, которые относились к 5, 15 и 25 (26) числам месяца. Сумма температур вычислялась сначала для станции Сары-Таш (графа 6), а потом переводилась в температуру на средней высоте зоны (графа 7) обычным способом.

Вычисленные таким способом снегозапасы оказались существенно больше снегозапасов, вычисленных ранее по табл. 8 (графа 10, табл. 10). Теперь они уже не могут соответствовать расходам воды в реке, которые положены в основу расчета табл. 8.

Расхождение между табл. 10 и 8 получилось потому, что, во-первых, период снеготаяния по табл. 8 короче, чем по табл. 10, из-за чего подача талых вод в первом случае должна быть меньше, чем во втором, и, во-вторых, потому, что в первом случае учитывался весь возможный сток, во втором — только часть его, так что по этой причине по табл. 10 должны получаться величины, большие, чем по табл. 8. Как видим, преобладало влияние второй причины. Так, в зоне № 8, согласно табл. 8, таяние продолжалось с 21/V по 20/IX и дало $974 \cdot 10^6$ м³ воды (487, деленное на коэффициент стока 0,5). Но с 18/V по 15/VIII, т. е. за срок, показанный в табл. 10, могло бы стоять $2(5+15+34+44+$

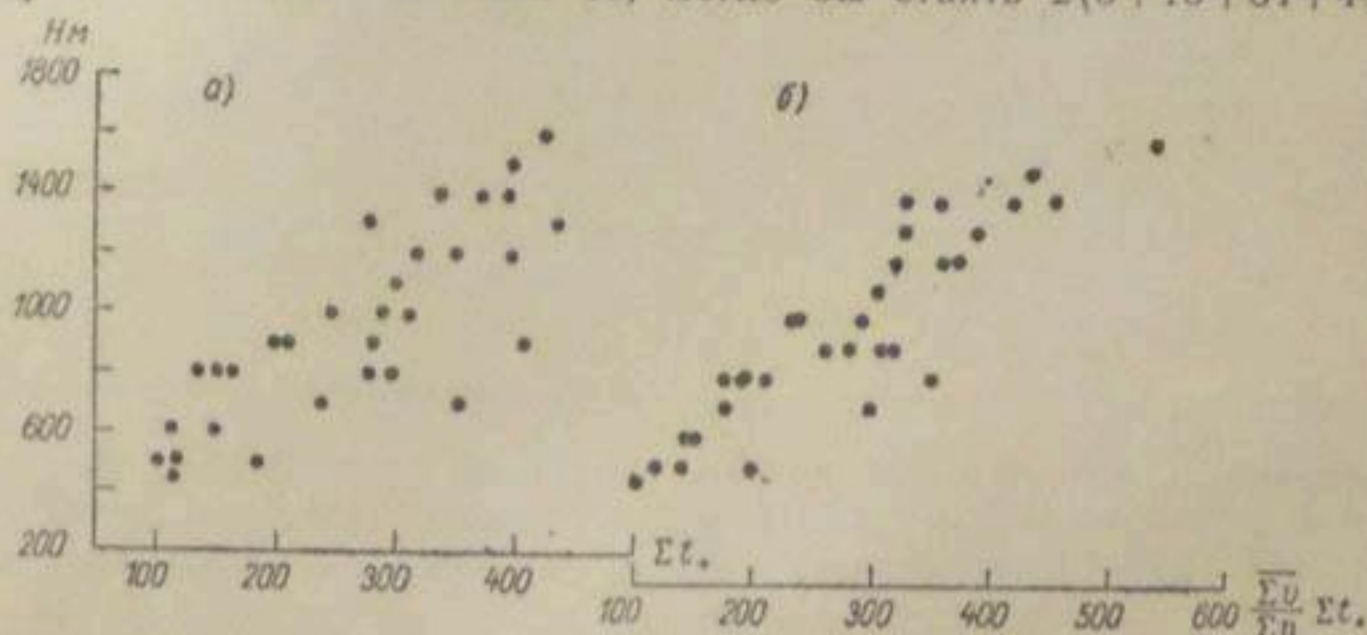


Рис. 7. Зависимость высоты снеговой линии H в бассейне р. Тубы от накопленной на этой высоте суммы положительных температур воздуха Σt_+ , приведенной (б) и неприведенной (а) к «нормальному» снегозапасу.

$+70+105+118+140+140+63) \cdot 10^6 = 1468 \cdot 10^6$ (по табл. 10 — 1490, разница за счет сглаживания).

Из предыдущего видно, что вычисление высоты снеговой границы пока пользы не принесло ни для вычисления, ни для моделирования явления природы. Без этого понятия мы пока обходились. Как будет показано ниже, без него можно обойтись и при расчете снегозапасов по ежегодным данным, рассмотренным ранее.

Связь (см. рис. 5) должна стать теснее, если простые календарные даты заменим суммами положительных температур воздуха, так как быстрота стаивания снега зависит не просто от времени, а от количества тепла, полученного тающим снегом за это время. Однако из сравнения рис. 5 и рис. 7 а этого не следует.

На скорость движения снеговой границы влияет и мощность снежного покрова: чем тоньше снежный покров, тем быстрее он стаивает и тем быстрее поднимается вверх снеговая граница. Чтобы учесть это обстоятельство, Харшан вводит поправочный множитель к температуре воздуха, приводящий каждый конкретный год к нормальному по снежности году. Этот поправочный множитель принимается равным обратной величине количества осадков за холодную часть года Σv , выраженного в долях от его многолетней средней величины $\Sigma \bar{v}$, т. е. в расчетах обычная сумма положительных температур воздуха Σt_+ заменяется

исправленной суммой $\frac{\Sigma \bar{v}}{\Sigma v} \Sigma t_+$. Эта замена приводит к заметному увеличению тесноты связи (рис. 7 б). Значит, введение поправочного коэффициента, учитывающего снежность и продолжительность зимы, на примере р. Тубы себя оправдало.

Поправочный множитель $\frac{\sum v}{\sum v}$ в данном году тем меньше, чем длиннее и снежнее была зима, но от этих же величин зависит и сток половодья, поэтому сток должен зависеть от этого множителя. Однако связь для р. Тубы оказалась слабой.

Зависимости, изображенные на рис. 5 и 7, справедливы лишь для высоты 1600 м. Для больших высот на спаде температуры метод не пригоден. При наступлении спада, как это следует из теории Харшана и о чем уже упоминалось, расход воды в реке должен уменьшаться сразу до нуля, чего на самом деле не наблюдается. В этом состоит один из главных недостатков метода Харшана. Именно по этой причине в сороковых годах П. М. Машуков не стал продолжать аналогичную работу по расчету гидрографа половодья [7].

Сам Харшан почему-то считает, что введение поправочного коэффициента на снежность и продолжительность зимы применяется для расчета при большом количестве осадков за период половодья. Однако в расчет никак не входят количества осадков теплого сезона, так как

коэффициент $\frac{\sum v}{\sum v}$ отражает только осадки холодного сезона, поэтому непонятно, причем тут большие количества осадков. Возрастание нормальных снегозапасов с высотой местности, надо полагать, происходит из-за отставания годового хода стока от годового хода высоты нулевой изотермы.

Основное в вычислении снегозапасов на соответствующих высотах состоит в следующем. Берется средний расход воды в реке за некоторый (вообще короткий) репрезентативный промежуток времени и температура воздуха на опорной станции за тот же промежуток времени (или с некоторой сдвижкой на время пробега воды) и вычисляется соответствующая этим величинам площадь тающего снега. От площади переходят к ее верхней и нижней (снеговая линия) границам и их высотам. Этим связывается высота местности (высота снеговой границы) с датой, в которую сошел снег на этой высоте. После этого определяется: дата начала таяния на этой же высоте, сумма положительных температур от начала до конца таяния на той же высоте и наконец путем умножения суммы температур на соответствующий коэффициент — слой талой воды, который мог бы образоваться на этой высоте при указанной сумме положительных температур. Эта величина и принимается за снегозапасы на рассматриваемой высоте. Как видим, вычисление высоты снеговой линии при указанном методе расчета распределения снегозапасов по высотным зонам обязательно. Однако вовсе не обязательно строить график зависимости высоты снеговой границы от времени, в которое эта граница достигла данной высоты, с целью применения этого графика для вычисления сглаженных снегозапасов. Так как снегозапасы для каждого отдельного случая вычисляются одновременно с высотой снеговой границы, то для сглаживания результата можно построить график зависимости снегозапасов (а не высоты снеговой линии) от высоты местности. Во всех этих вычислениях высота снеговой границы выступает в качестве вспомогательной переменной, без вычисления которой можно обойтись, что не повлияет на результат.

Температура заметного таяния

Во всех вычислениях нулевая температура воздуха являлась критической точкой, при наступлении которой, как предполагалось, весной начиналось таяние и отдача талой воды, а осенью — накопление влаги

в виде снежного покрова. Для снега (а не воздуха) нуль градусов в данный момент (а не в среднем за декаду) в данном месте (а не за многие километры) действительно является критической точкой; но для тех условий, применительно к которым производился расчет снеговой значенне температуры воздуха. Одну из таких точек — температуру заметного таяния — рассматривает Н. Г. Дмитриева; по ее расчетам, эта температура колеблется от 2 до 5° [7]. Исходя из самого названия температуры заметного таяния, количество стаявшего снега нужно было полагать пропорциональным не просто температуре, а эффективной температуре, т. е. обычной температуре воздуха, уменьшенной на температуру заметного таяния. Однако расчет можно вести прежним (в данном случае менее последовательным) способом, т. е. полагать интенсивность таяния пропорциональной температуре воздуха, но считать, что до достижения температурой воздуха температуры заметного таяния интенсивность таяния равна нулю, а потом скачком возрастает до положенной величины, пропорциональной обычной (неэффективной) температуре воздуха. Дмитриева, по-видимому, пользовалась вторым способом расчета.

Последним способом мы сделали пересчет табл. 8, но существенного изменения результата не получили (табл. 9, $f^{(D)}_4, w^{(D)}_Q$). Согласно табл. 8, температура заметного таяния должна быть отрицательной, так как прибыв воды в реке начинается во второй декаде февраля, когда температура воздуха в самой нижней зоне была еще ниже нуля.

Метод В. Л. Шульца¹ для расчета распределения запасов снега по высотным зонам [10]

В Средней Азии расчетом распределения снега по высотным зонам занимался В. Л. Шульц. По наблюдениям на нескольких горных станциях он строил график времени наступления нулевой температуры воздуха за 13 ч. на различных высотах

$$f(H_{\Phi}, T) = 0, \quad (14)$$

где H_{Φ} — высота нулевой изотермы, иначе, высота фронта снеготаяния, и T — время наступления ее на этой высоте. Принималось, как обычно, что коэффициент стаивания k постоянный и испарение со снега при его таянии отсутствует. По формуле (14), точнее, по соответствующему графику, определяется высота, которой достигает нулевая изотерма в данный момент времени T . Но эта формула могла бы также выразить суточную температуру воздуха и количество стаивающего за сутки снега на данной высоте H в разные сутки декады T , если допустить постоянство температурного градиента и коэффициента стаивания. Этих сведений было бы достаточно, чтобы заполнить графы 8, 9, 10, 12, 13, 15, 16 ... и строки 10 табл. 8. Однако Шульц этим обстоятельством не пользовался и делал расчет по-иному. Он составлял график накопления сумм положительных температур для всех дней года и для всех возможных высот. После этого график перестраивается путем замены в нем температурных сумм их произведениями на постоянный коэффициент стаивания k . В результате этого получают возможные количества стаявшего снега на любой день года и для любой высоты местности. Теперь можно получить гидрограф, зная мощность снега на разных высотах, или мощность снега, зная гидрограф. Последнее делается «путем

¹ Описанный метод применялся В. Л. Шульцем для получения внутригодового распределения стока.

подбора кривых зависимостей» мощности снега от высоты местности; сведения о способе подбора отсутствуют. В работе [10] приводятся графики зависимости водности снежного покрова от высоты для водосборов рек Кашкадарья, Ангрена, Чирчика, Зеравшана и Исфара (рис. 8). Этот рисунок показывает, что водность снежного покрова в нижних зонах водосбора тем больше, чем ниже его средняя высота, при условии, что количество выпадающих осадков в водосборах не очень различно. Автор считает этот график сомнительным, так же как и вывод из него.

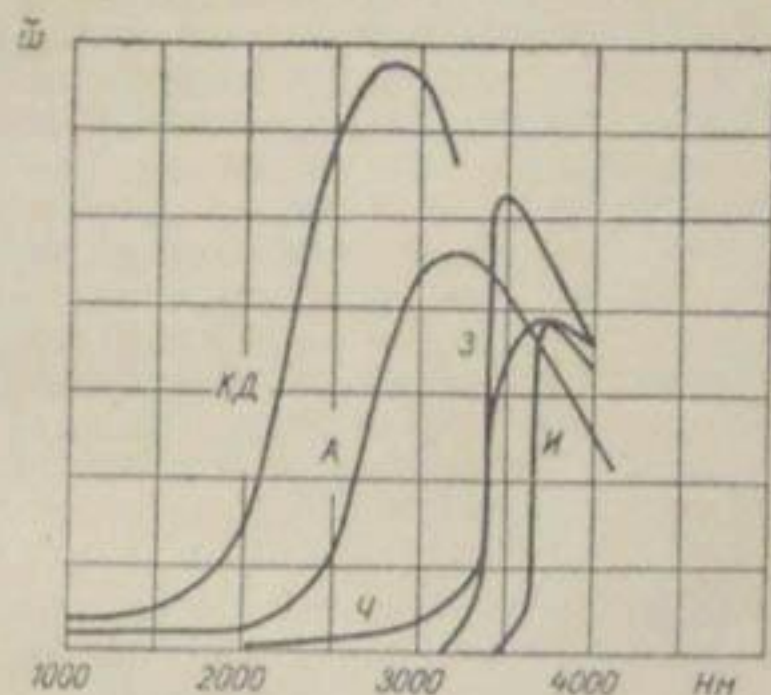


Рис. 8. Зависимость вычисленной водности снежного покрова $\bar{\psi}$ от средней высоты водосбора реки H (по В. Л. Шульцу). КД — Кашкадарья, А — Ангрен, Ч — Чирчик, З — Зеравшан, И — Исфара.

В. Л. Шульц в работе [10] приводит график зависимости среднего времени схода снежного покрова (положение тыла снеготаяния) от его мощности (в слое воды) и высоты местности.

Обобщение

Попробуем теперь обобщить исследованный материал. Для расчета снегозапасов водосбора исходили из зональных снегозапасов, т. е. запасов снега на отдельных высотных зонах. Зональные снегозапасы получаются путем придания соответствующих весов (коэффициентов) $\psi_{d,n} = \psi_{t,n}$ декадным количествам осадков, измеренным на опорной станции. Здесь d обозначает ту календарную декаду, за которую

взяты осадки на опорной станции, t — температура воздуха на той же станции и за ту же декаду. Так как номер декады d целиком определяет температуру t , то индекс t можно заменять индексом d и наоборот, что и было сделано. H — средняя высота той высотной зоны (ступени), для которой вычисляются зональные снегозапасы.

Эти вычисления были построены так, что можно записать

$$\psi_{d,n} = \psi_{t,n} = c_{t,n} \varphi_H b_H \quad (15)$$

Здесь φ_H — площадь зоны (ступени), расположенной на высоте H ; b_H — величина, зависящая от закона распределения осадков по высоте H ; $c_{t,n}$ — величина, зависящая от температуры воздуха на опорной станции t и высоты зоны (у автора величина $c_{t,n}$ принимала только два значения: 0 и 1).

Чтобы получить величину снегозапасов, образовавшихся на всем водосборе за данную декаду, нужно количество осадков, выпавшее на опорной станции за ту же декаду, умножить на некоторый коэффициент $f_d = f_t$, полученный суммированием по высоте зональных коэффициентов, т. е.

$$f_t = \sum_H \psi_{t,n} \quad (16)$$

Как видим, коэффициенты f при декадных количествах осадков целиком зависят от температуры воздуха, причем и температура и осадки берутся за одну и ту же декаду на одних и тех же опорных станциях.

Все рассмотренные способы расчета снегозапасов получены путем придания величинам c и b соответствующих значений, поэтому их можно разделить на несколько типов. Рассмотрим их.

Тип f_0 . Веса f постоянны: $c=1$, $\varphi=\frac{1}{N}$, $b=1$, $\psi=\frac{1}{N}$ (N — число зон), $f=f_0=1$ для всех зон; веса совершенно не зависят от температуры воздуха на опорной станции и от площадей высотных зон; распределение осадков по высотным зонам равномерное.

Тип f_2 . Веса f зависят только от температуры воздуха и не зависят от площадей водосбора и от распределения осадков с высотой, т. е. $c=0$ или $c=1$, $\varphi=\frac{1}{N}$, $b=1$, $\psi=0$ или $\psi=\frac{1}{N}$, $f=f_2$.

Тип f_1 . Веса f зависят от температуры воздуха и от площадей высотных зон, осадки распределены равномерно по высоте, т. е. $c=0$ или $c=1$, $\varphi=\varphi$, $b=1$, $\psi=0$ или $\psi=\varphi$, $f=f_1$.

Тип f_3 . Веса f зависят от температуры воздуха и от площадей высотных зон; осадки возрастают с высотой, градиент их возрастания постоянный, т. е. $c=0$ или $c=1$, $\varphi=\varphi$, $b=AH+B$, $\psi=0$ или $\psi=\varphi(AH+B)$, $f=f_3$.

Тип f_4 . Веса f зависят от температуры воздуха и от площадей водосбора, осадки вычисляются путем сопоставления стока с температурой воздуха, т. е. $c=0$ или $c=1$, $\varphi=\varphi$, b вычисляются, например, как в табл. 8, $f=f_4$.

Снегозапас водосбора полагается получать суммированием осадков на опорной станции за весь гидрологический год. Практически период суммирования ограничивают с одной или двух сторон. Распространено ограничивание этого периода осенью 1 октября, так как осадки августа и сентября влияния на снегозапас почти не оказывают. Ограничение весной делается в зависимости от наступления срока выпуска прогноза; обычно период суммирования осадков заканчивается 28 февраля или 31 марта. Осеннее ограничение являлось естественным, весеннее — вынужденным.

Коэффициент f был точной функцией температуры воздуха на опорной станции, он повторял все ее значительные колебания. Обычно же требуют, чтобы этот коэффициент осенью только возрастал, а весной только убывал, предполагая, что осенью снеговая линия только понижается, а весной только повышается. В вычислениях это допущение выражается в том, что при многократном переходе зональной температуры воздуха через нуль учитывается лишь один переход: первый или последний. Харшан, например, для осени берет последний устойчивый переход температуры с положительной на отрицательную (скачок величины c от 0 до 1), декады с временным похолоданием игнорируются (применяется $c=0$). Такой прием ведет к некоторому уменьшению роли осенних осадков.

Расчет снегозапасов был рассмотрен применительно в основном к методу Харшана. Рассмотрим теперь другие работы, которые могут быть подведены под описанные типы.

Метод В. И. Коровина

В. И. Коровин в своей работе по методике прогноза стока по рекам Каратал и Аксу делит осадки опорной станции на осенние и зимние, считая началом осени момент перехода средней декадной температуры воздуха на опорной станции Кугалы (1535 м) через $5,9^\circ$ (через 0° в наивысшей точке водосбора). За конец осени и начало зимы принимается 11 ноября. За конец зимы берется 31 марта, что в известной

степени связано со сроком выпуска прогноза. Декадные осадки «зимы» суммируются с одинаковыми весами, равными 1 (тип f_0), а сумма осадков «осени» вычисляется по типу f_1 , по упрощенной формуле (13), ограничивая период 10 ноября,

$$\tilde{w} = f_1^{(1)}v_1 + f_1^{(2)}v_2 + f_1^{(3)}v_3 + \dots = \sum f_1^{(i)}v_i,$$

где переменные верхние индексы — номера декад.

Согласно теореме о среднем, последнюю формулу можно представить в виде $\tilde{w} = \sum_{i=1}^n f_1^{(i)}v_i = f_{\text{ср}} \sum v_i$. Заменяя $f_{\text{ср}} = \frac{\sum f_1^{(i)}v_i}{\sum v_i}$ его приближенным значением $f(t_0)$, представленным как функция от средней за осень температуры на опорной станции t_0 , получаем

$$\tilde{w} = f(t_0) \sum v_i.$$

Здесь нет существенного нарушения схемы типа f_1 . В холодную часть года, когда нулевая изотерма держится близко к нижней точке водосбора, веса f_1 , как показано выше, близки к единице, поэтому не будет большой ошибки, если каждый из них положить равным единице, как это и сделал Коровин. Можно спорить лишь о целесообразности назначения 11 ноября, а не какой-либо другой даты в качестве начала зимы. Замена точного $f_{\text{ср}} = \frac{\sum f_1 v}{\sum v}$ приближенным $f(t_0)$ также не должна вызывать возражения, так как все наши расчеты вообще приближены.

Коэффициент $f(t_0)$, являющийся долей площади, расположенной выше нулевой изотермы, определяется по интегральной гипсографической кривой, имеющей кривизну. Сопоставление ежегодных данных $f(t_0)$ и t_0 Коровина для рек Каратал и Коксу показало, что соответствующие кривые могут быть с большой точностью заменены прямыми, и тогда снегозапасы осени могут быть выражены следующими формулами:

для р. Каратала

$$\tilde{w} = \sum_{X1}^{\text{III}} v + v_0 - v_{1 \text{ дек } X1}, \quad (t_0 \leq -0,5^\circ)$$

$$\tilde{w} = \sum_{X1}^{\text{III}} v + 0,89v_0 - v_{1 \text{ дек } X1} - 0,18t_0v_0, \quad (t_0 > -0,5^\circ)$$

для р. Коксу

$$\tilde{w} = \sum_{X1}^{\text{III}} v + v_0 - v_{1 \text{ дек } X1}, \quad (t_0 \leq -1,2^\circ)$$

$$\tilde{w} = \sum_{X1}^{\text{III}} v + 0,81v_0 - v_{1 \text{ дек } X1} - 0,15t_0v_0, \quad (t_0 > -1,2^\circ)$$

Здесь t_0 и v_0 — средняя температура воздуха и количество осадков осени.

П. М. Машуков исследовал этот метод применительно к р. Каратал следующим образом. Прежде всего была построена кривая зависимости коэффициентов типа f_i от температуры воздуха t_0 на станции Кугалы с использованием для этого данных Коровина. Теоретически эта кривая представляет собой обычную гипсометрическую кривую в интегральной форме, шкала высот графика которой заменена шкалой температуры воздуха, исходя из расчета, что температура уменьшается

с высотой равномерно по $2,4^\circ$ на 1 км поднятия и что опорная метеорологическая станция Кугалы находится на высоте 1535 м.

Хотя снеготпасы, по Коровину, довольно тесно связаны с обыкновенной суммой осадков за октябрь—март (коэффициент корреляции 0,92), эти величины нельзя признать равноценными, так как их разность довольно значительно изменяется год от года.

С расходом воды за вегетационный период р. Каратал снеготпасы связываются не теснее, чем простая сумма осадков за октябрь—март (рис. 9). Как видим, и на этот раз взвешенная сумма осадков с прогностической точки зрения не стала лучше обыкновенной, простой суммы.

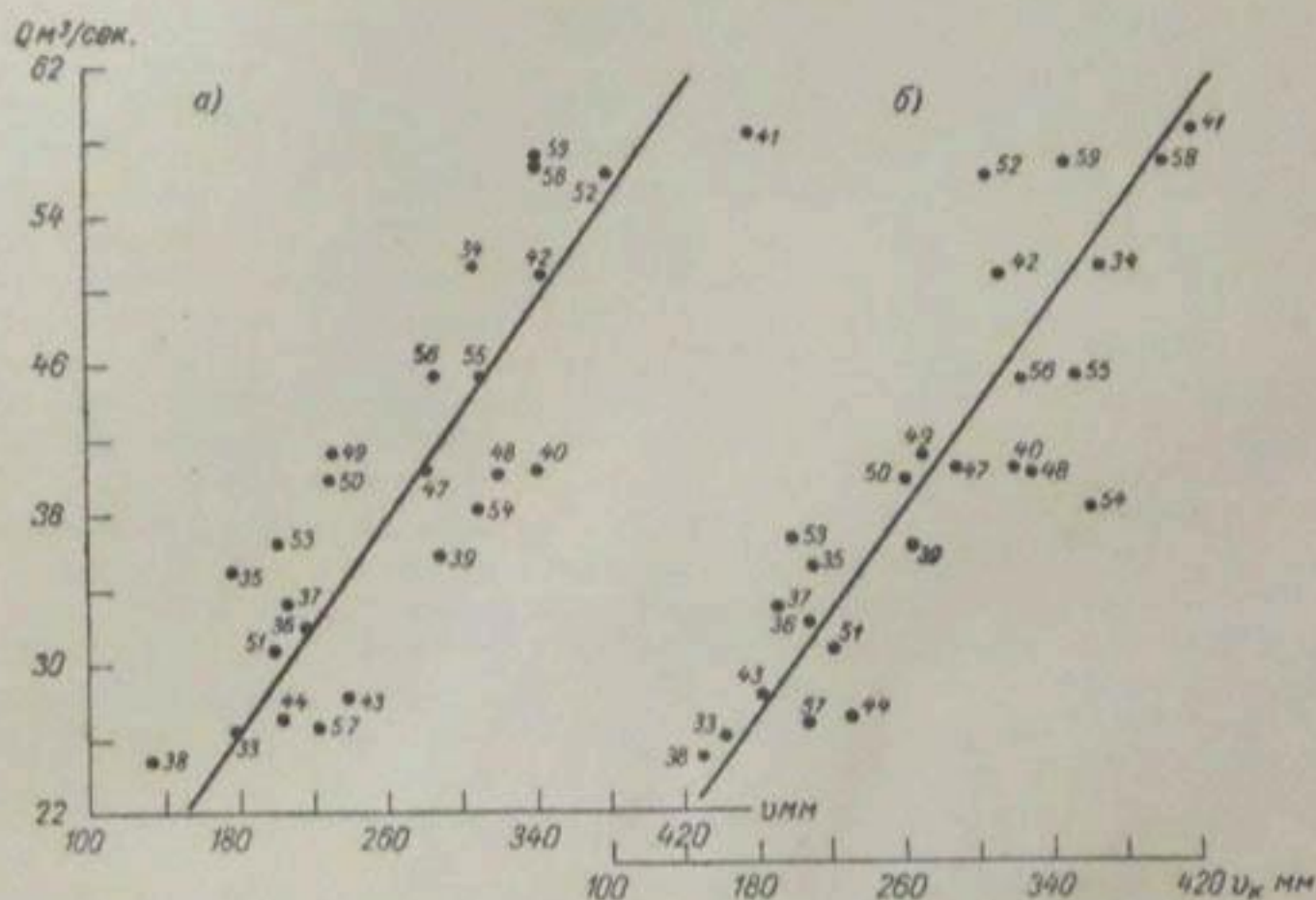


Рис. 9. Зависимость среднего расхода р. Каратал за вегетационный период Q от количества осадков в Кос-Агаче v за постоянный период октябрь—март (а) и подсчитанных по способу В. И. Коровина (б).

Испортили эту связь точки последних восьми лет, которых еще не имел автор метода Коровин. Высокая теснота связи, очевидно, была случайной.

Далее Коровин декадные суммы осадков заменил расходами воды в реке, обработав их таким же способом, как ранее количества осадков. Однако и это не дало преимущества перед простым количеством осадков.

Для водосбора р. Карадарьи деление осадков на осенние и зимние (по Коровину) оказалось безразличным по отношению к стоку за вегетационный период.

Учет осеннего увлажнения

Метод Коровина по форме напоминает применяемый для равнинных рек метод, учитывающий осеннее увлажнение [8]. Аргумент первого метода можно записать в виде

$$\tilde{w} = \sum_m^a p_i v_i + \sum_a^b v_j$$

и второго, как мы увидим ниже,

$$\tilde{w} = \sum_{n=c}^n u(v_i, t_i) + \sum_n^d v_j.$$

Здесь v_i и v_j — месячные или декадные количества осенних и зимних осадков; i и j — календарные номера осенних и зимних месяцев или декад; p_i — поправочный множитель, зависящий от температуры воздуха t_i ; $u(v_i, t_i)$ — некоторая функция от количества осадков и температуры воздуха, называемая осенним увлажнением; m и n — переменные даты наступления определенного значения средней суточной или декадной температуры воздуха; a , b , c и d — постоянные даты. Аналогия, как видим, идет далеко.

По второму способу, как и по первому, количество осадков, принимаемое за аргумент прогностической связи, делится на две части — осеннюю и зимнюю. Первые, по мнению автора метода, сами не попадают в сток половодья, но определяют проницаемость почвы и тем самым влияют на коэффициент стока зимних осадков, за счет которых и формируется сток половодья. Границей между осенью и зимой служит первый день с устойчивым морозом.

Осенние осадки Σv берутся за некоторый постоянный период Δd (обычно за два или три месяца), оканчивающийся в начале холодов. Из этого количества вычитается количество испарившейся влаги Σz за тот же период. Полученную разность $\Sigma u = \Sigma v - \Sigma z$ называют осенним увлажнением и используют в качестве аргумента прогностической связи. Месячное испарение определяют по графику Б. В. Полякова [8] как функцию $z = f(v, t)$ от месячных количеств осадков v и средней месячной температуры воздуха t . Очевидно, функцией от этих же двух величин будет являться и осеннее увлажнение для месячных промежутков времени

$$u = v - z = v - f(v, t) = F(v, t).$$

За всю осень, кончающуюся датой первого устойчивого заморозка ∂_3 и начинающуюся датой $\partial_3 - \Delta d$, осеннее увлажнение выражается в виде функции трех переменных

$$\Sigma u = \sum_{\partial_3 - \Delta d}^{\partial_3} F(v_i, t_i), \quad (17)$$

в том числе даты первого заморозка.

Номограмма Полякова рассчитана на месячные промежутки времени, но ее можно пересчитать и на двухмесячные, за которые обычно подсчитывается осеннее увлажнение. В таком случае (17) может быть заменена более простой формулой

$$u = F(v_{oc}, t_{oc}), \quad (18)$$

и тогда весь метод составления прогноза стока Q предстанет в виде

$$\tilde{Q} = \Phi(w, u) = \Phi[w, F(v_{oc}, t_{oc})], \quad (19)$$

где w — максимальный запас воды в снежном покрове или количество зимних осадков $w = v_{zim}$, т. е. осадков, выпавших с начала первого устойчивого заморозка до конца весны, обычно до некоторой постоянной даты, например до 1 апреля.

Если объединить осенние и зимние осадки, то получим количество осадков

$$v = v_{oc} + v_{zim}$$

за некоторый осенне-зимний сезон с переменным началом и постоянным концом, которое в неявном виде входит в формулу (19). В неявном же виде в эту формулу входит дата первого устойчивого заморозка. Чем позже наступит заморозок, тем короче будет осенне-зимний сезон, тем меньшее количество осадков будет учтено и тем меньший сток должен ожидаться. С другой стороны, чем позже наступит заморозок, тем ниже будет температура воздуха за расчетный двухмесячный осенний период, тем меньше будет испарение и тем больше ожидаемый сток $\bar{Q}$. Как видим, дата первого заморозка отражает противоположные тенденции, которые в некоторые годы могут гасить друг друга, поэтому возникает сомнение в целесообразности назначения переменного начала суммирования осадков. Нехорошо, что ожидаемый расход зависит от такого неустойчивого элемента, как дата первого устойчивого заморозка.

Прежде чем проверить описываемый метод на реках Средней Азии, график Полякова был преобразован в такой вид, в котором не испарение, а само осеннее увлажнение представлено как функция от осадков и температуры. График получился простой: для каждой данной температуры осеннее увлажнение оказалось линейной функцией осадков, оно приблизительно пропорционально количеству осадков с коэффициентом пропорциональности около 0,8 при температуре 0°; 0,7 при 6° и 0,5 при 12°.

Таблица II

Осеннее увлажнение в зависимости от количества осадков и температуры воздуха

Месечная сумма осадков, мм	Средняя месячная температура воздуха, град.					
	0	4	8	12	16	20
10	7	6	4	2	1	0
20	16	14	10	8	4	0
40	33	29	23	18	13	0
80	68	60	50	39	27	8
120	104	93	76	60	43	18

Для проверки по высокогорной станции Чаткал были вычислены ежегодные количества осадков за зиму (от первого заморозка до 31 марта) и осеннее увлажнение за два месяца. Затем был построен график связи среднего расхода воды в Чирчике с этими двумя переменными. Связь оказалась не теснее, чем с количеством осадков за октябрь—март.

Работы Е. И. Гирник по прогнозу стока с учетом высоты сезонной снеговой границы

В предыдущих работах поправки к количеству осадков вычислялись по температуре воздуха. Рассмотрим работу, где эти поправки определялись по наблюдениям над границей снега [3].

В качестве аргумента прогностической связи принимается объем воды в снежном покрове рассматриваемого водосбора на 1 апреля или какую-либо другую постоянную дату. Этот объем вычисляется как произведение площади, занятой снегом, на среднюю по водосбору водность снега.

Площадь, занятую снегом, определяют по гипсометрической кривой как площадь, лежащую выше изогипсы H^* , являющейся средней высотой снеговой линии. Последнюю получают из маршрутных снегосъемок.

За среднюю по водосбору водность снега (снегозапасы) принимают некоторое среднее значение водности снега на снегомерном маршруте или среднее количество осадков, полученное по наблюдениям на нескольких опорных станциях, за постоянный период, например с октября по март (табл. 12).

Таблица 12

Расчет снегозапаса по методу Е. И. Гирник

Год	Количество осадков за X—III на ст. Ангрен и Чаткал ν	Высота снеговой границы в бассейне Гавасая 1/IV H^*	Площадь выше H^* , $F^* = a(H^*)$	νF^*	Средний расход воды за вегетационный период р. Кассансай
1933	250	(1810)	65	162	16,2
1934	299	(1250)	85	254	27,4
1935	224	(1750)	63	141	17,9
1936	196	(2010)	54	106	12,7
1937	160	(2050)	51	82	12,2
1938	176	2080	50	88	9,4
1939	202	2070	50	101	11,3
1940	188	2030	52	98	10,9
1941	305	2120	45	137	15,4
1942	334	2000	56	187	20,3
1943	285	1610	72	205	19,8
1944	190	2160	46	87	9,3
1945	304	1590	76	232	19,4
1946	247	2120	47	116	15,2
1947	146	2160	47	66	11,9
1948	340	(1930)	68	231	19,9
1949	232	1780	63	144	20,3
1950	192	2040	52	99	13,1
1951	198	2120	48	95	12,7
1952	392	1910	58	228	26,2
1953	314	2050	49	154	23,0
1954	352	2000	53	187	19,0
1955	188	2100	49	92	15,9
1956	284	1875	62	176	15,6
1957	168	2060	54	91	7,9
1958	278	(2120)	48	134	20,6
1959	346	(1860)	64	221	21,9
1960	331	(1550)	73	242	19,4
1961	138	(2250)	42	58	8,1

Снегомерные маршруты в Средней Азии располагаются в горных долинах и представлены постоянными снегомерными площадками, на которых измерения снега производятся в определенные календарные сроки. Высоту снеговой границы данного водосбора H^* Гирник получала как среднее из H^* отдельных долин, входящих в водосбор. H^* долины находится как некоторое среднее из высоты двух соседних снегомерных площадок: самой верхней, бесснежной, и самой нижней, со снегом. Часто H^* бассейна может быть получена из H^* только одной-двух долин, т. е. по показаниям всего одной-двух снегомерных площадок, что делает ее ненадежной, подверженной значительным случайным колебаниям. Это должно отражаться на качестве метода составления прогнозов. В работах самой Гирник граница снега определялась

по 4—5 площадкам. Согласно сказанному, аргумент прогностической связи может быть записан в виде

$$x = a(H^*)v, \quad (20)$$

где v — количество осадков на опорной станции, например за октябрь—март и $a(H^*)$ — коэффициент при этом количестве, определяемый по измеренной высоте снеговой границы H^* .

Так как аргумент x зависит от переменных v и H^* , то его можно было бы представить в общем виде

$$x = x(v, H^*),$$

где $x(v, H^*)$ — искомая функция, которая может быть найдена путем построения графика связи между наблюдаемыми v , H^* и Q .

Коэффициент $a(H^*)$, равный или пропорциональный площади водо-

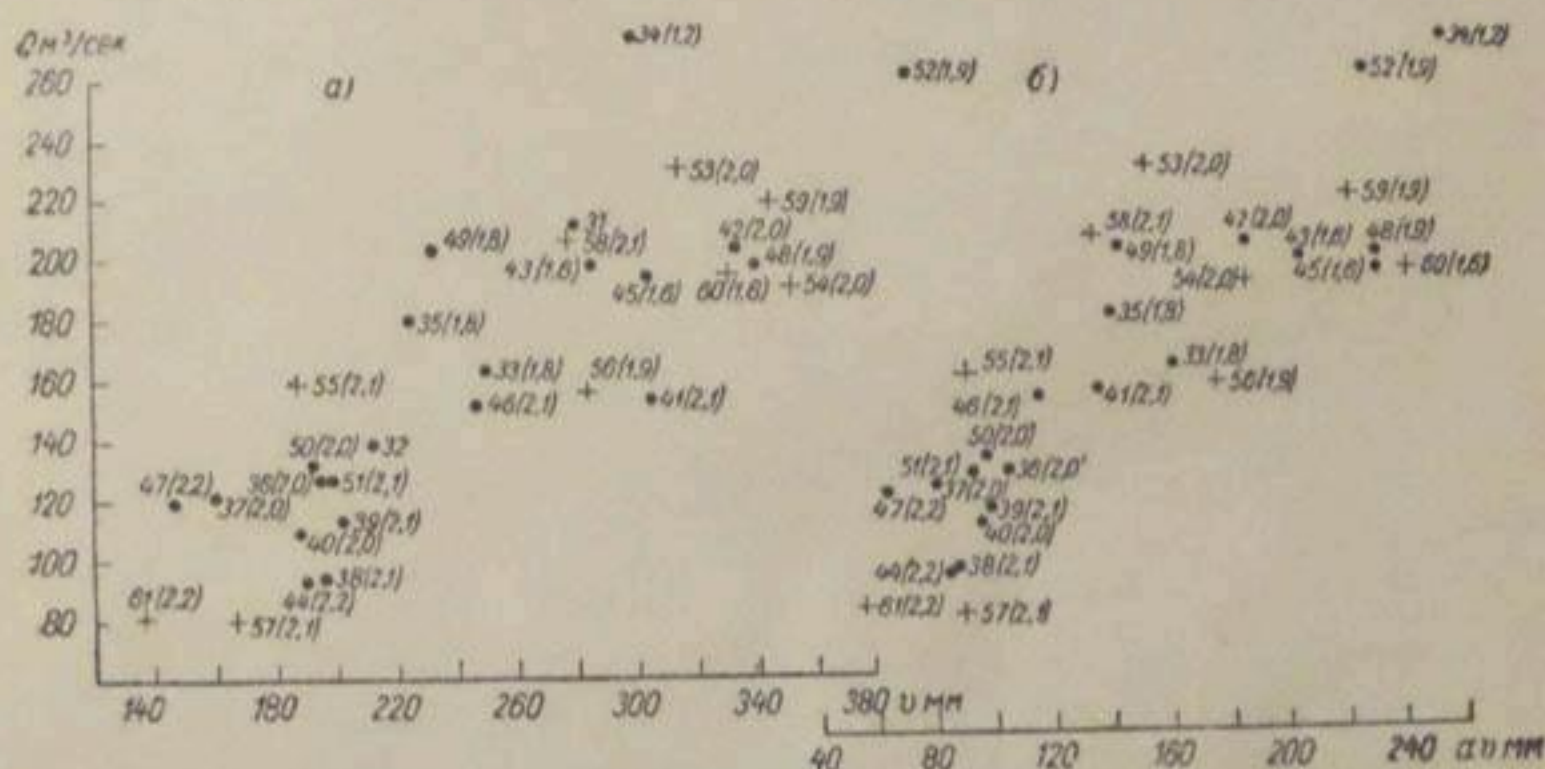


Рис. 10. Зависимость среднего расхода р. Кассансай за вегетационный период Q от простого количества осадков (v) на станциях Ангрен и Чаткал за октябрь—март и с учетом высоты снеговой границы, вычисленной по способу Е. И. Гирник (ав).

сбора, ограниченной снизу изогипсой H^* , принадлежит к типу знакомых нам коэффициентов $\bar{f}$, но отличается от последних тем, что вычисляется по наблюдаемой, а не вычисленной высоте снеговой границы. Далее, в методе Харшана коэффициент $\bar{f}$ менялся от декады к декаде, у Гирник он принят одинаковым для всей зимы.

Введение коэффициента $a(H^*)$ к количеству осадков было проверено в секторе гидропрогнозов УГМС Узбекской ССР на ряде объектов и во многих случаях приводило к улучшению прогностических связей, т. е. к увеличению их тесноты. Однако надежность связей с таким аргументом всегда вызывала сомнение из-за неустойчивости коэффициента $a(H^*)$. Нередко по истечении некоторого времени они становились даже слабее первоначальных связей с обычными суммами осадков. Рассмотрим конкретный пример, взятый из работы Е. И. Гирник [3]. В этой работе приводится график связи среднего расхода воды в р. Кассансай за вегетационный период с количеством осадков за октябрь—март по станциям Ангрен и Чаткал, умноженным на коэффициент $a(H^*)$. Впервые связь была построена по данным за 1933—1952 гг. (рис. 10 б) и оказалась существенно теснее такой же связи с простой суммой осадков

(рис. 10 а). Однако прогнозы, составленные в последующие девять лет по первому графику, оказались хуже прогнозов, составленных по второму графику, т. е. введение поправки на высоту снеговой границы не улучшило, а ухудшило качество прогнозов. Так, средняя ошибка прогноза в первом случае составила 4,0 м³/сек., а во втором 2,7 м³/сек. Только в двух годах введение этой поправки улучшало прогноз, в остальных шести оно ухудшало его. Дадим более подробный анализ этой работы.

В интервале высот от 1000 до 2500 м, где происходит колебание снеговой границы, гидрографическая кривая водосбора р. Кассансай представлена прямолинейным отрезком, уравнение которого (если H выражать в километрах)

$$a(H) = -0,42H + 1,39.$$

В таком случае аргумент связи

$$x = (1,39 - 0,42H) v = 0,42(3,3 - H) v,$$

(v — количество осадков за октябрь—март), а сама связь примет вид

$$\tilde{Q} = f_1(x) = f[(3,3 - H) v].$$

Исследуем ее.

В осях координат v и Q последнее уравнение выражает пучок кривых, пересекающихся в точке с координатами $v=0$ и $\tilde{Q}=Q_0$, где Q_0 — расход, соответствующий $H=3,3$ км.

Если бы истинный расход воды в р. Кассансай строго подчинялся уравнению

$$Q = f[(3,3 - H) v],$$

то высоте $H=3,3$ км соответствовало бы полное отсутствие снега на водосборе, а $Q=Q_0$ отвечал бы расходу грунтовой воды, запасенной ранее. На самом деле Q_0 отображает не только прошлогоднюю грунтовую воду, но и всяческие неточности метода. При отсутствии связи между Q и $(3,3-H)v$ последнее выражение должно было бы превратиться в уравнение

$$\tilde{Q} = Q_0,$$

т. е. Q_0 представлял бы просто многолетний средний расход вегетационного периода.

Поставив около точек (рис. 10 а) ежегодные значения высоты снеговой границы H^* и проведя по ним изолинии, мы должны были бы, согласно сказанному, получить систему изолиний, пересекающихся в точке с координатами $v=0$ и $\tilde{Q}=Q_0$. Действительно, расположение точек на графике (рис. 10 а) таково, что все их можно заключить внутри угла с вершиной в начале координат, но провести линии равных значений H^* оказалось невозможно не только так, как этого требует теория, т. е. в виде лучей, исходящих из общей точки, но и любым другим способом из-за отсутствия зависимости H^* от Q и v .

К такому же неутешительному результату мы пришли, приняв в качестве аргумента величину

$$x = a(H^*) w, \quad (21)$$

т. е. заменив в формуле (17) количество осадков за (октябрь—март) v на количество снега в конце марта в долине Чаткала w .

Согласно нашим представлениям о природе прогностических связей и принимая во внимание сказанное выше о малой репрезентативности величин H^* , применение аргументов в виде формул (17) и (18) нерационально.

В самом деле, водность снежного покрова, определенная по результатам маршрутных снегомерных съемок, уже в значительной мере определяет высоту снеговой границы; чем она меньше, тем выше эта граница. Поэтому, составляя произведение $a(H^*)v$ или $a(H^*)w$, мы тем самым высоту снеговой границы H^* учитываем два раза, т. е. придаем этой малорепрезентативной величине двойной вес по сравнению с весом количества осадков v или снега w , что неверно. Об этом говорит и сам процесс вычисления: показания самых нижних снегомерных площадок с их неустойчивым снежным покровом принимаются во внимание дважды: один раз при вычислении w , а другой — при вычислении H^* .

Схема расчета притока талых вод в малом горном бассейне по работе А. Н. Важнова [2]

Выше в одном из разделов мы вычисляли распределение количества снега по высотным зонам, используя для этой цели известное распределение речного стока во времени года. Теперь же рассмотрим одну из работ, посвященную обратной задаче, т. е. по известному из наблюдений распределению мощности снежного покрова в пространстве найти распределение стока во времени.

А. Н. Важнов нашел, что в пределах малого горного водосбора величина снегозапасов к началу таяния равномерно увеличивается с высотой местности и, следовательно, это нарастание можно выразить некоторым постоянным градиентом. Здесь, как видим, встречаемся с типом f_3 задачи на определение коэффициентов для формулы (13). Важнов считает, что для любого момента времени высоту тыла таяния H_t можно получить из наблюдений.

Из сказанного следует, что можно построить графики зависимости количества снега и даты схода снежного покрова от высоты местности. Имея их, заполним форму табл. 8 следующим образом:

1. Уже известным способом заполним графы 1, 2, 8, 9, 12, 15, ... Первые две из них обозначают дату, восьмая — наблюдаемую температуру на опорной станции, остальные — вычисленную температуру в зонах.

2. Имея сведения о зональных значениях температуры воздуха (графы 9, 12, 15, ...), заполним все графы строки 10 табл. 8 датами начала таяния в каждой зоне (переход зональной температуры через 0°).

3. Принимая во внимание, что имеется график зависимости дат схода снежного покрова от высоты местности, найдем по нему эти даты для каждой зоны, которые запишем во все графы строки 11.

4. По аналогичному графику найдем и запишем в строку 4 зональные значения водности снежного покрова в каждой зоне.

5. В графе 9 (первая зона) подсчитаем сумму положительных температур воздуха по день схода снега (строка 11). Суммировать можно средние декадные температуры, причем температуру последней суммируемой декады нужно умножить на число дней со снегом и разделить на 10. Результат записываем в строку 5 графы 9. Прделаав такие же вычисления для всех высотных зон, получим те суммы положительных температур воздуха, которые нужны для стаивания снега в каждой высотной зоне.

6. Разделив теперь числа строки 4 на соответствующие числа строки 5, получим коэффициенты c перехода от температуры к слою снега, ставшего за декаду при этой температуре. Запишем их в строку 6.

7. Умножим на эти коэффициенты зональные декадные температуры и результаты запишем в графы 10, 13, 16, ... внутри табл. 8.

8. Это будут зональные количества талой воды, образовавшиеся в каждую из декад за все время таяния снега, выраженные в миллиметрах слоя воды. Начало и конец таяния записаны в строках 10 и 11.

9. Умножим последние числа на площади зон и результаты запишем в графы 11, 12, 13, ... Мы получим те же величины, но в объемных единицах.

10. Сложив все эти зональные значения стока по строкам, получим декадные количества талых вод. Результаты запишем в графу 7.

11. После этого можно произвести сравнение вычисленных значений объема талых вод с наблюдаемым стоком (графа 3) и получить представление о надежности наших вычислений. В идеальном случае отношение графы 3 к графе 7 должно быть постоянным и равным коэффициенту стока.

Указанные в пункте 6 (строка 6) коэффициенты перехода c Важнов считал одинаковыми и равными коэффициенту стаивания, умноженному на долю покрытия снегом местности. Эта величина у него получилась равной 2 мм слоя воды на 1° положительной температуры воздуха в сутки.

Надо полагать, что найденные указанным способом коэффициенты c окажутся очень неустойчивыми. Чтобы этого не случилось, нужно предварительно исследовать зависимость между числами строк 4 и 5, что даст возможность не только получить более надежные значения коэффициента c (строка 6), но также установить, имеет ли вообще смысл полагать его величиной, постоянной хотя бы в пространстве (от зоны к зоне). По сути дела c должен убывать с течением времени, так как чем дольше тает снег, тем больше становится проталин, тем меньше средний слой стаивающего при данной температуре снега.

Свои расчеты Важнов применил к средним многолетним величинам. Снегозапасы в каждой зоне вычислялись по связи количества осадков за холодный сезон с высотой местности станций, на которых измерялись осадки. Зависимость получилась прямой и линейной, чего можно было ожидать уже потому, что продолжительность холодного сезона возрастает с высотой местности, а при этом возрастает и количество осадков за сезон.

По Важнову [2], вычисленный сток половодья оказался близким к наблюдаемому: проверка по пяти бассейнам дала расхождение менее 4% абсолютной величины снегозапасов. Общий коэффициент стока для рек, бассейны которых в основном расположены в зоне от 1500 до 3500 м, оказался очень устойчивым в течение апреля—июня, когда снеготаяние происходит еще на значительной площади. Для рек, водосборы которых расположены ниже 2500 м, коэффициенты стока получились в среднем в полтора раза меньше. Величина их заметно убывала начиная с конца мая, когда талый сток почти полностью прекращается. Коэффициенты стока дождевых вод в конце половодья (июнь—июль) оказались в среднем в полтора раза меньше, чем коэффициенты талого стока. Например, для одной из рассмотренных рек коэффициент стока талой воды в апреле и мае составлял 0,40—0,50, тогда как коэффициент дождевого стока в июне—июле был равен 0,30—0,35.

Не имея исходных данных, нельзя это проверить. Работа Важнова интересна тем, что снегозапасы в разных высотных зонах определяются

более надежно, чем в ранее рассмотренных случаях, в которых количества осадков, измеренные на одном, часто равнинном пункте, через посредство температуры воздуха переносились на отдельные высотные зоны. Здесь это делалось путем интерполяции фактических наблюдений над осадками на многих горных станциях, расположенных на разных высотах, что гораздо надежнее.

Исследование высотного градиента температуры воздуха

При вычислении снегозапасов или интенсивности таяния снега предполагают постоянство во времени и в пространстве высотного градиента температуры воздуха. На самом деле этот градиент, даже средний за многолетний период, зачастую сильно зависит от времени и места. Известны, например, районы, где в зимние месяцы этот градиент систематически отрицательный, тогда как обычно он бывает положительным. Правда, если исходить из средних по водосбору условий, то изменение температуры во времени и в пространстве должно быть закономерным. Но поскольку в расчетах мы исходим из наблюдений на отдельных реальных станциях, которые далеко не точно отражают эти средние условия, то всегда рискуем получить искаженные представления о необходимой нам средней картине.

Чтобы составить некоторое представление об изменении температуры воздуха во времени и пространстве, рассмотрим ход ее на ряде метеорологических станций по многолетним средним величинам. В качестве мерила закономерности в годовом ходе применим синусоидальную кривую вида

$$t = a + b \sin \frac{2\pi}{36} (\partial - \partial_0), \quad (22)$$

где t — температура воздуха в данном пункте, ∂ и ∂_0 — текущая и начальная даты (№ календарных декад); a — средняя годовая температура; b — амплитуда колебания температуры, равная половине разности между крайними значениями средней декадной температуры. Начальная фаза $\frac{2\pi}{36} \partial_0$ подбирается так, чтобы синусоида была по возможности ближе к графику наблюдений температуры. Формулу (22) можно записать

$$t = a + b \sin \frac{2\pi}{36} \partial, \quad (23)$$

каждый раз оговаривая, какую декаду следует считать нулевой. Формулу (22) предложил Ю. М. Денисов [4].

Между вычисленной и наблюдаемой многолетней средней температурой воздуха в Сары-Таше наблюдается довольно хорошее соответствие.

На рис. 11 приведены градиенты, вычисленные по наблюдениям шести станций, расположенных на высотах от 500 до 4200 м. Установить закономерность в изменении градиентов во времени и пространстве трудно, хотя сами изменения довольно велики: наибольшее отклонение от средней величины составляет в лучшем случае $\pm 20\%$ последней, в других случаях оно больше.

Ю. М. Денисов [4] пытался также и ход градиента во времени представить в виде синусоиды с той же фазой, что и синусоида температуры (23), т. е.

$$\gamma = \gamma_0 + \gamma \sin \frac{2\pi}{36} \partial, \quad (24)$$

что для условий нашего примера дает

$$\gamma = 6,5 + 3,4 \sin \frac{2\pi}{36} \vartheta.$$

График этой формулы (см. рис. 11) совершенно не похож на графики фактических градиентов.

Учитывая формулы (23) и (24), можно записать температуру в виде

$$t = a + b \sin \frac{2\pi}{36} \vartheta - \left(\gamma_0 + \gamma \sin \frac{2\pi}{36} \vartheta \right) H, \quad (25)$$

учитывающем время года ϑ и высоту места наблюдения H .

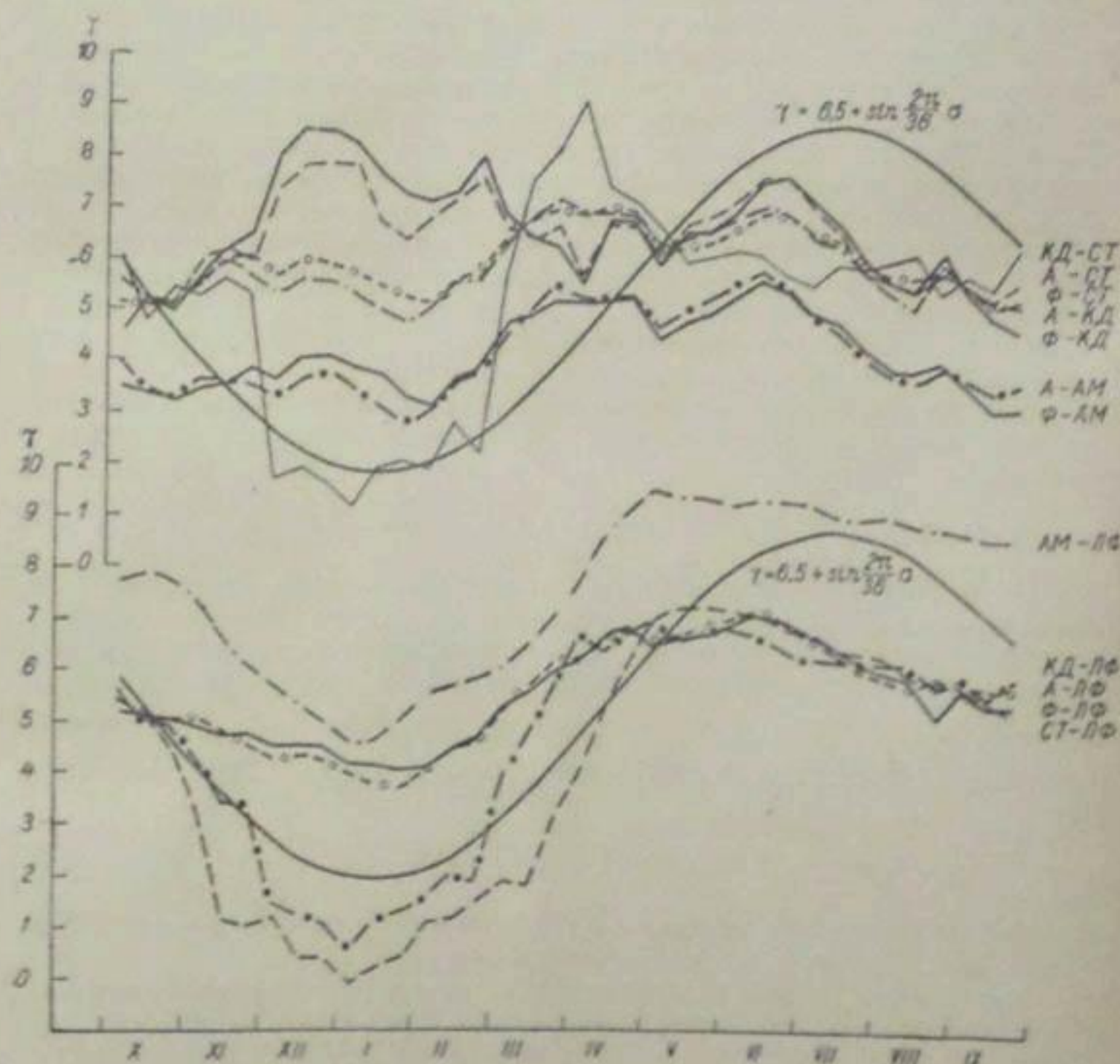


Рис. 11. Высотный градиент температуры воздуха γ , вычисленный по многолетним средним декадным значениям температуры воздуха t . Плавная линия — градиент, вычисленный по формуле $\gamma = 6,5 + 3,4 \sin \frac{2\pi}{36} \vartheta$.

ЛФ — Ледяной Фельдшан, СТ — Сары-Таш, АМ — Алтын-Мазар, КД — Кзыл-Джар, Ф — Фурганы и А — Айыкман

Применительно к наблюдениям указанных шести станций формула принимает вид

$$t = -3,2 + 13,2 \sin \frac{2\pi}{36} \vartheta - H \left(6,5 + 3,4 \sin \frac{2\pi}{36} \vartheta \right).$$

Из наших материалов не видно четкой зависимости градиента от высоты местности.

Вернемся к графикам (см. рис. 11). Они указывают на значительное разнообразие градиентов как во времени года, так и по высоте местности. Особенно большое разнообразие наблюдается зимой, когда рельеф оказывает большое влияние на температуру воздуха на высоте метеорологической будки и поэтому некоторые станции становятся нерепрезентативными.

На рис. 12 показана многолетняя средняя температура на нескольких станциях, приведенная к высоте станции Сары-Таш (3207 м) при условии, что градиент равен 6,5 град/км. Из графика следует, что станция Алтын-Мазар явно непоказательна, так как на ней температура воздуха весь год чрезмерно высокая, поэтому градиенты температуры

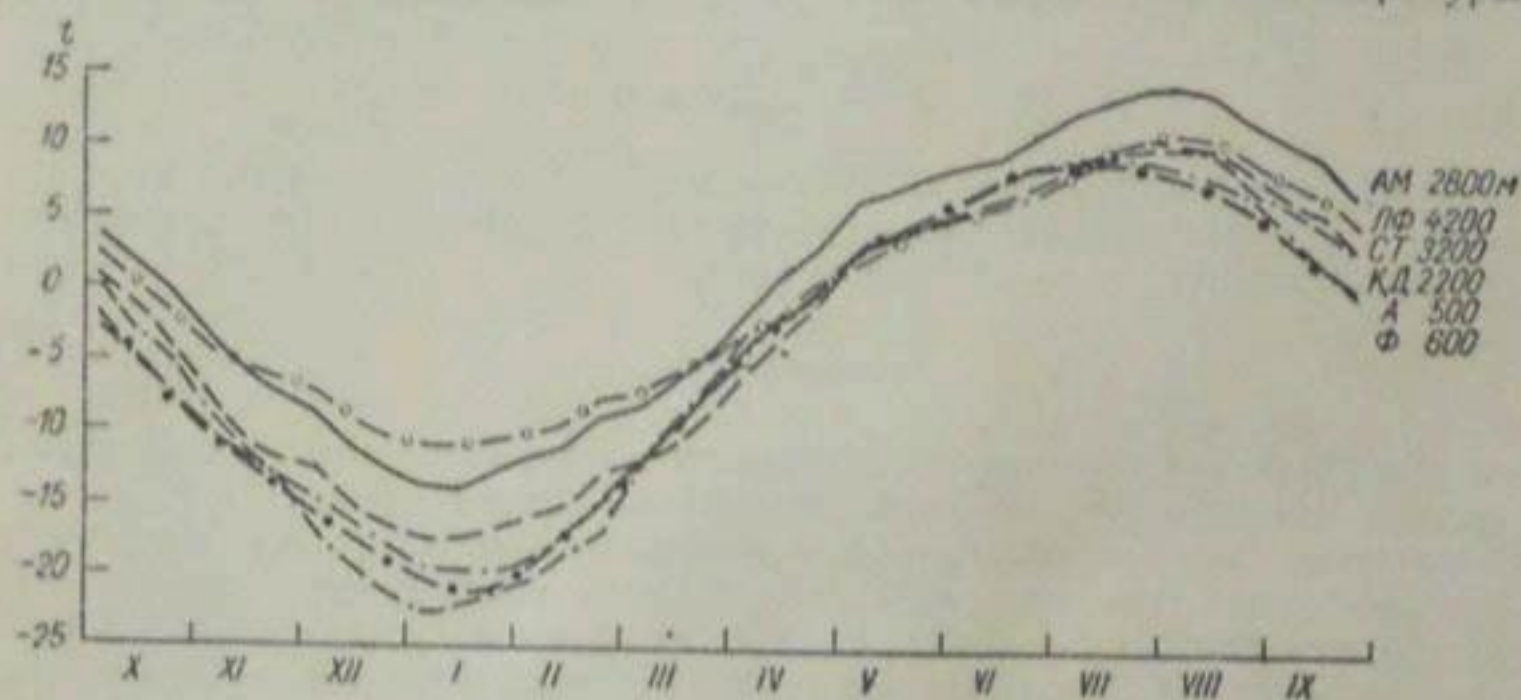


Рис. 12. Многолетняя средняя декадная температура воздуха t на высокогорных метеорологических станциях, приведенная к высоте Сары-Таша.

Цифры у линий разности высот в м.

получаются или слишком большими или слишком маленькими, в зависимости от высоты сравниваемой станции. Чрезмерно низка зимой температура в Кызыл-Джаре.

Весной и летом, если не считать Алтын-Мазара, станции дают в общем согласные и притом близкие показания (см. рис. 12), позволяющие принять градиент постоянным. Для холодной части года такого постоянства нет, и поэтому надежная экстраполяция температуры в пространстве затруднена. При расчетах температуры нужно большое внимание обращать на выбор репрезентативных станций и подходящего градиента. Менять градиент во времени (один для зимы, другой для лета) следует, но экстраполировать его по методу Денисова (см. плавную кривую на рис. 11) не рекомендуется.

Из вышеприведенного исследования видно, что экстраполяция температуры воздуха в горах, даже средней многолетней, не столь надежна, как это считается.

Но, может быть, метод экстраполяции температуры по формуле Денисова (25) даст лучшие результаты при вычислении снеготанпавов по форме табл. 8, так как эта формула свободна от местных незакономерных влияний на температуру воздуха, ухудшающих результат расчета? Ответ на этот вопрос после составления расчета по форме табл. 8 оказался отрицательным.

Зависимость убыли снега от температуры воздуха в горных районах Средней Азии

В излагаемых в настоящей работе расчетах количества талой воды по температуре воздуха фигурирует постоянный коэффициент стаивания k . Для Средней Азии В. Л. Шульц принимает его равным 5,5 мм воды в сутки на 1° положительной средней суточной температуры воздуха. Известны и другие значения этого коэффициента. Предполагается, что интенсивность таяния $\frac{\Delta w}{\Delta n}$ может быть получена по формуле

$$\frac{\Delta w}{\Delta n} = kt, \quad (26)$$

где n — время в сутках, w — водность (запас воды) снега в мм.

Из формулы (26) находим слой воды, образующийся за время N ,

$$w = k \sum_1^N t_i \Delta n,$$

который, как видим, должен быть пропорциональным сумме положительных средних суточных температур воздуха. Полагая $\Delta n = 1$, получим последнюю формулу в ее обычном виде

$$w = k \sum_1^N t_i.$$

Эти формулы применимы только при положительной температуре, так как при отрицательной интенсивность таяния по формуле (26) также должна быть отрицательной, что невозможно. Из формулы следует, что при отрицательной температуре воздуха снег не тает, что, как известно, неверно, особенно когда для расчета используется средняя суточная температура. Несмотря на это, указанные формулы применяются наиболее часто, когда приходится рассчитывать таяние снега.

В работе [6] довольно подробно рассмотрен вопрос о точности и надежности таких расчетов для Средней Азии по материалам наблюдений над таянием снежников [11, 12] и наблюдений над высотой снежного покрова на высокогорных метеорологических станциях. Здесь излагаются выводы из этой работы.

По наблюдениям на снежниках автором были получены две формулы: одна для средней суточной температуры воздуха на высоте 2 м

$$\frac{\Delta w}{\Delta n} = 4,8(t + 2,3^\circ) \quad (27)$$

и другая — у поверхности снега

$$\frac{\Delta w}{\Delta n} = 8,1(t_0 + 1,8^\circ). \quad (28)$$

Для формулы (27), построенной по 434 суточным наблюдениям на восьми снежниках, среднее стаивание $\frac{\Delta w}{\Delta n}$ составило 71 мм/сутки при среднем квадратическом отклонении $\sigma = 2,0$ мм/сутки и коэффициенте корреляции $r = 0,78$. Для формулы (28) первые две величины получились такие же, последняя составила $r = 0,59$, т. е. вторая связь оказалась слабее первой.

Связи типа (27) применяются для расчета интенсивности таяния снега там, где простая географическая интерполяция этой величины невозможна, например в горном водосборе. В таких случаях интерполируют или экстраполируют температуру воздуха, а от нее по соответствующим формулам переходят к интенсивности таяния, при этом пред-

полагают, что подобный двухстепенный способ экстраполяции точнее простого, одностепенного. Насколько последнее справедливо, сказать трудно, так как никто соответствующей проверкой не занимался. Чтобы решить этот вопрос, температура воздуха в районе каждого снежника была заменена температурой в Пскеме, взятой с поправкой на разность высот из расчета $-0,72^\circ$ на каждые 100 м поднятия (градиент $0,72$ взят по В. Л. Шульцу). В результате этого пересчета формула (27) превратилась в формулу

$$\frac{\Delta w}{\Delta n} = 4,7 (t + 2,8^\circ), \quad (29)$$

причем коэффициент корреляции r снизился с $0,78$ до $0,64$, а средняя квадратическая ошибка δ поднялась с $0,62\sigma = 1,2$ мм/сутки до $0,77\sigma = 1,5$ мм/сутки, где $\sigma = 2,0$ мм/сутки — среднее квадратическое отклонение интенсивности таяния от его средней величины, равной 71 мм/сутки. Число $0,62$ получено по известному способу $\sqrt{1-r^2} = \sqrt{1-0,78^2} = 0,62$. Так же получено и число $0,64$.

Связь (29), как видим, оказалась очень слабой. Если таяние рассчитывать по этой формуле, то средняя квадратическая ошибка такого расчета σ составит $1,5$ мм/сутки, тогда как если в качестве расчетного взять простое среднее арифметическое, равное 71 мм/сутки, эта ошибка равна $2,0$ мм/сутки, т. е. лишь немногим больше.

Указанная ошибка получилась при расчете таяния чимганских снежников по наблюдаемой температуре воздуха на станции Пскем. Спрашивается, какова точность расчета таяния неизвестного снежника, расположенного, например, в верховьях Пскема на данной высоте, если расчет делать по той же формуле (29) и использовать температуру воздуха на станции Пскем? Вероятнее всего (если расстояние между снежником и метеорологической станцией уменьшилось незначительно) точность расчета в последнем случае будет ниже хотя бы уже потому, что формула выведена по наблюдениям на чимганском снежнике и станции Пскем, и поэтому для другой пары пунктов наблюдений над таянием и температурой она, вообще говоря, будет иной. Конечно, могут быть случаи и более точного расчета, но от этого ничего не меняется, так как речь идет не об отдельных случаях, а о массовых явлениях.

Сказанное относится к расчету суточных величин стаивания, включающих большие относительные ошибки измерения при недостаточной репрезентативности средней суточной температуры воздуха. Результат, по-видимому, получится точнее, если рассчитывать величины стаивания за двое суток, и еще точнее — если за трое суток и т. д. В. Л. Шульц [12] показывает, что стаивание имеет смысл рассчитывать по температуре воздуха не менее чем за декаду.

Известно, что хотя между колебаниями расхода воды в реке и температурой воздуха и существует связь, но она очень слабая. Последнее становится понятным, если учесть, что от температуры воздуха мало зависит даже интенсивность таяния. А талая вода проходит еще длинный путь, прежде чем попасть в реку, теряя связь с температурой с каждым пройденным километром пути.

Формула (27) прежде всего показывает, что таяние начинается при $-2,3^\circ$, а не при 0° , как это часто принимается в расчетах.

Коэффициент стаивания составляет $4,8$ мм/сутки на 1° положительной эффективной температуры

$$t_s = t + 2,3^\circ,$$

нуль которой соответствует $2,3^\circ$ мороза по обычной шкале Цельсия. Заменяя в формуле (27) скобку на t_s , приводим это уравнение к виду

(26). Обычный коэффициент сгивания на 1° положительной температуры

$$k = \frac{1}{t} \frac{\Delta w}{\Delta n} = 4,8 + \frac{11,0}{t}$$

является не постоянным, а убывает с повышением температуры воздуха, принимая значение 5,5 при $t = 15,7^\circ$.

Интересно отметить, что интенсивность абляции с поверхности ледника Федченко вблизи гидрометстанции выражается полученной автором формулой

$$\frac{\Delta w}{\Delta n} = 5,4(t + 4,1^\circ),$$

которая мало отличается от приведенных ранее.

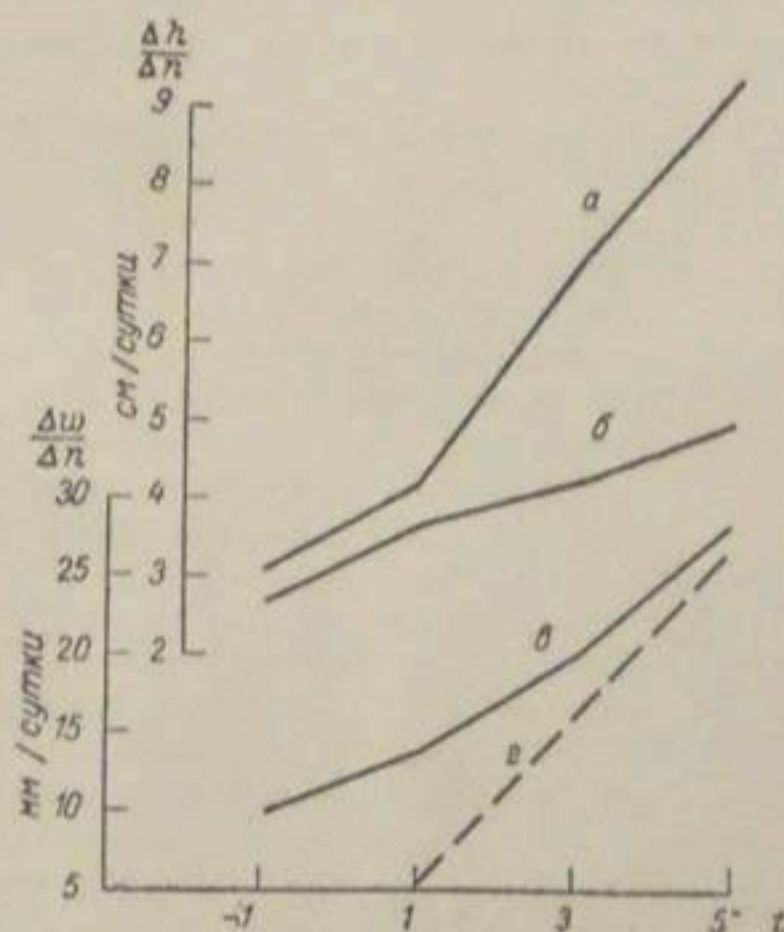


Рис. 13. Средняя интенсивность уменьшения высоты $\frac{\Delta h}{\Delta n}$ и водности $\frac{\Delta w}{\Delta n}$ снега в зависимости от средней суточной температуры воздуха t (а) на высокогорных метеорологических станциях, (б) на горных станциях и (в) на станции Ангрен, плато (г), (г) $\frac{\Delta w}{\Delta n} = 5,5 t$.

Приведенные расчеты относятся к снежникам, лежащим в складках местности среди голой (лишенной снега) нагретой летним солнцем земли. Поэтому у автора нет оснований переносить их на весеннее таяние обширных снежных полей, как это делают другие, без соответствующей проверки.

Для изучения весеннего таяния были использованы ежедневные значения высоты снежного покрова и температуры воздуха на девяти метеорологических станциях, расположенных на высотах от 1300 до 4200 м над уровнем моря. Ниже излагаются результаты исследования.

Высота снега уменьшается не только при положительной, но и при отрицательной температуре воздуха (табл. 13). При этом интенсивность

уменьшения высоты снежного покрова $\frac{\Delta h}{\Delta t}$ зависит не только от температуры воздуха, но и от места наблюдения. Заметно различаются высокогорные и горные районы. В высокогорных интенсивность уменьшения высоты снега возрастает с температурой быстрее, чем в горных (рис. 13 а, б). Так, при температуре 2—4° на высокогорном Сары-Таше она в два с половиной раза больше, чем на низкогорном Пскеме.

Таблица 13

Многолетние средние величины в зависимости от средней суточной температуры воздуха

№	Название метеостанции	Высота, м	Температура, град.						Число лет
			—2	—2—0	0—2	2—4	4—6	6	

Интенсивность уменьшения высоты снега, см/сутки

1	Ледник Федченко	4170	2,1	2,8	4,2	5,6	7,0	10,0	10
2	Тянь-Шань	3670	1,8	3,4	4,4	6,0	7,0	—	25
3	Сары-Таш	3210	2,1	4,1	5,0	8,4	10,3	—	24
4	Алтын-Мазар	2780	1,1	2,1	3,4	8,3	13,0	12,0	8
5	Ангрен, плато	2340	3,0	2,9	4,2	4,7	6,5	8,1	8
6	Ангрен	2290	1,6	2,5	3,6	3,8	4,3	5,4	23
7	Кызыл-Джар	2200	2,0	2,7	3,5	4,3	4,8	3,0	10
8	Чаткал	1940	1,6	2,8	4,1	4,9	5,1	3,1	24
9	Пскем	1260	1,4	2,3	2,9	3,1	4,0	4,8	22
	Среднее по станциям								
	высокогорным (1—4)	2780—4170	1,8	3,1	4,2	7,1	9,3		
	горным (5—9)	1260—2340	1,9	2,6	3,7	4,2	5,0		
	всем (1—9)	1260—4170	1,9	2,8	3,9	5,5	7,0		

Плотность снега, г/см³

5	Ангрен, плато	2340	0,34	0,35	0,33	0,42	0,44	0,44
---	-------------------------	------	------	------	------	------	------	------

Интенсивность уменьшения водности снега, мм/сутки

5	Ангрен, плато	2340	11	10	14	20	29	36
---	-------------------------	------	----	----	----	----	----	----

Высота снега может уменьшаться не только за счет таяния и испарения, но и благодаря простому уплотнению. Поэтому можно подумать, что получившаяся убыль снега при отрицательной температуре воздуха как раз и является результатом уплотнения его без потери вещества. Чтобы убедиться в противоположном, нужно было бы указанной обработке подвергнуть не высоту, а водность снежного покрова. Однако это сопряжено с большими трудностями, благодаря которым от указанной обработки на первых порах пришлось отказаться.

Чтобы все же дать некоторое представление об интенсивности уменьшения водности (запаса воды) снега, автор воспользовался следующим приемом. Из данных декадных и пентадных снегосъемок в районе станции Ангрен, плато были выбраны и осреднены все плотности снега, измеренные в марте и апреле при соответствующих значениях температуры воздуха (табл. 13). Искомые значения интенсивности убыли водности снежного покрова получены путем умножения на эти плотности соответствующих значений интенсивности уменьшения высоты снежного покрова. Связь интенсивности убыли водности с температурой изображена на рис. 13 в в виде ломаной линии, состоящей из трех отрезков, уравнения которых следующие:

$$\frac{\Delta w}{\Delta n} = 2,0(t + 6,0^\circ), \quad -1^\circ < t < 1^\circ$$

$$\frac{\Delta w}{\Delta n} = 3,0(t + 3,7^\circ), \quad 1^\circ < t < 3^\circ$$

$$\frac{\Delta w}{\Delta n} = 4,5(t + 1,4^\circ), \quad 3^\circ < t < 5^\circ$$

$$\frac{\Delta w}{\Delta n} = 4,8(t + 2,3^\circ).$$

Последним для полноты картины записано уравнение для снежников Чимгана. Числа 6,0; 3,7 и 1,4°, взятые с обратными знаками, можно рассматривать в качестве нулей эффективной температуры воздуха. Все они отрицательны и по численному значению убывают с повышением температуры.

Как видим, зависимость интенсивности таяния снега от температуры воздуха вовсе не прямая, как это следует из уравнений (27) и (28), а кривая линия (на чертеже ломаная), распространяющаяся в область отрицательных температур; к прямой (рис. 13 *г*) она приближается в области высоких температур.

Числа 2,0; 3,0; 4,5 и 4,8 играют роль коэффициентов стаивания на 1° положительной эффективной температуры. Все они меньше 5,5 и увеличиваются с повышением температуры воздуха.

Итак, все формулы показывают, что снег тает и при отрицательной температуре воздуха и что коэффициент стаивания на 1° положительной средней суточной температуры воздуха не только не является постоянной величиной, но при отрицательных температурах теряет свой смысл. Почему же многие авторы так настойчиво держатся за этот совсем не такой уж точный коэффициент? Это можно объяснить прежде всего тем, что при высокой температуре количество снега, стаивающего за сутки, декаду или какой-либо другой постоянный промежуток времени, действительно пропорционально средней суточной температуре воздуха за этот же промежуток времени, как это показывает рис. 13. Кроме того, и сам способ построения искомых зависимостей навязывал эту пропорциональность. Дело в том, что некоторые исследователи, вместо того чтобы прямо связывать интенсивность таяния $J = \frac{\Delta w}{\Delta n}$ с температурой воздуха t , ищут зависимость между нарастающими суммами этих величин

$$x = \sum_1^n t_i \quad \text{и} \quad y = \sum_1^n J_i,$$

где i — дата (число месяца) измерения, $n = 1; 2; 3 \dots; N$ — число суток, прошедших от начала суммирования до его переменного конца n .

Указанные величины можно переписать в виде $x = n\bar{t}_n$ и $y = nJ_n$,

если ввести скользящие средние $\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_1^n t_i$ и $J_n = \frac{1}{n} \sum_1^n J_i$.

Исключая из последних формул число суток n , получим выражение, связывающее вспомогательные переменные y и x ,

$$y = \frac{\bar{J}_n}{\bar{t}_n} x. \quad (30)$$

Так как коэффициент сглаживания на 1° положительной температуры $k_n = \frac{J_n}{t_n}$ мало меняется по сравнению с величинами x и y , которые могут быть очень большими при длительном периоде наблюдений, то из формулы (30) при большом N можно сделать два вывода: а) связь между величинами x и y будет тесная даже в том случае, если связь между J и t отсутствует; б) линия связи пройдет близ начала координат. Это и требовалось доказать.

Связь между x и y отражает не столько зависимость J_i от t_i , сколько тот факт, что в обе связываемые величины в качестве множителя входит n , который и определяет высокую тесноту связи между x и y .

Во многих районах (табл. 14) уже при отрицательных средних суточных температурах воздуха исчезает большая часть снежного покрова. При средних условиях при отрицательных температурах высота снежного покрова на станции Тянь-Шань уменьшается на 92%, в Сары-Таше — на 68%, в Кызыл-Джаре — на 53% и т. д. В отдельные годы на этих станциях весь снег исчезал при отрицательных средних суточ-

Таблица 14

Многолетние средние значения количества снега (в числителе — в сантиметрах, в знаменателе — в процентах) при различной температуре воздуха

№ п/п	Название метеостанции	Высота, м	Уменьшение высоты снега при температуре (град.) не выше						Месяц, в котором в среднем тает снег	Количество осадков в этом месяце, мм	Температура, ниже которой высота снега уменьшалась в два раза
			-2,1	-0,1	1,9	3,9	5,9	всего			
1	Ледник Федченко	4170	$\frac{17}{10}$	$\frac{40}{24}$	$\frac{95}{58}$	$\frac{135}{82}$	$\frac{156}{95}$	$\frac{164}{100}$	VI—VII	71	1,4°
2	Тянь-Шань	3670	$\frac{26}{74}$	$\frac{32}{92}$	$\frac{34}{98}$	$\frac{35}{99}$	$\frac{35}{100}$	$\frac{35}{100}$	IV	22	-2,1
3	Сары-Таш	3210	$\frac{27}{41}$	$\frac{45}{68}$	$\frac{59}{89}$	$\frac{65}{98}$	$\frac{67}{100}$	$\frac{67}{100}$	IV	28	-1,4
4	Алтын-Мазар . . .	2780	$\frac{10}{23}$	$\frac{19}{47}$	$\frac{28}{67}$	$\frac{35}{85}$	$\frac{38}{93}$	$\frac{41}{100}$	III	23	0,2
5	Ангрен, плато . . .	2340	$\frac{11}{7}$	$\frac{17}{10}$	$\frac{36}{22}$	$\frac{69}{42}$	$\frac{111}{68}$	$\frac{165}{100}$	IV	145	4,7
6	Ангрен	2290	$\frac{9}{18}$	$\frac{20}{39}$	$\frac{33}{65}$	$\frac{44}{86}$	$\frac{49}{96}$	$\frac{51}{100}$	III—IV	54	1,6
7	Кызыл-Джар	2200	$\frac{21}{35}$	$\frac{32}{53}$	$\frac{49}{82}$	$\frac{57}{96}$	$\frac{59}{99}$	$\frac{60}{100}$	III	26	-0,4
8	Чаткал	1940	$\frac{21}{23}$	$\frac{40}{43}$	$\frac{63}{68}$	$\frac{83}{89}$	$\frac{91}{98}$	$\frac{93}{100}$	IV	46	1,0
9	Пскем	1260	$\frac{7}{7}$	$\frac{19}{19}$	$\frac{29}{29}$	$\frac{51}{50}$	$\frac{75}{74}$	$\frac{101}{100}$	III	119	4,4

ных температурах воздуха, т. е. при сумме положительных температур, равной нулю.

С этим обстоятельством нельзя не считаться при производстве соответствующих гидрологических расчетов. Правда, эти выводы относятся не к водности, а к высоте снежного покрова, которая, как указывалось ранее, может уменьшаться также за счет уплотнения снега даже при отсутствии таяния и испарения. Однако объяснить уменьшение высоты снежного покрова при отрицательной температуре одним только уплотнением снега нельзя, так как во многие весны, даже при мощном снежном покрове, весь снег исчезал при этой температуре. Так, в 1945 г. в Сары-Таше из 111 см снега 63 см исчезло при температуре ниже -2° , 34 см — при температуре от -2 до 0° и только 14 см при температуре от 0 до $+0,5^{\circ}$, т. е. фактически весь снег толщиной более 1 м сошел при отрицательной средней суточной температуре воздуха.

Количество снега, стаявшего и испарившегося при заданной температуре воздуха, меняется в пространстве. Так, при отрицательной средней суточной температуре высота снега уменьшается в Пскеме на 8%, а на Тянь-Шане — на 92%. При температуре ниже $+4^{\circ}$ на большинстве станций исчезает 80—99% снега, а на станциях Ангрен, плато и Пскем — только 42—44%.

Таяние снега зависит не только от температуры воздуха, но и от солнечной радиации, поэтому роль солнечной радиации в таянии снега должна возрастать на тех станциях, где большая часть снега тает при холодной погоде, например на станциях Тянь-Шань и Сары-Таш, и быть меньше там, где он тает при более высокой температуре, как это наблюдается на станции Пскем и вообще в Чирчик-Ангренском бассейне.

С этим явлением связано решение задачи об искусственном усилении таяния снега и льда путем посыпки их темными порошками, приводящими к уменьшению альбедо тающей поверхности. Очевидно, наибольшего эффекта зачернения следует ожидать в тех районах, где солнечная радиация в таянии снега и льда играет решающую роль. При зачернении тающей поверхности в весеннее время в Тянь-Шанском районе следует ожидать большего эффекта, чем в Чирчикском. В другой сезон года результат может быть иным.

Убыль снега при отрицательной температуре воздуха, выраженная в процентах от всей высоты снега, возрастает с высотой местности (рис. 14 а). Но эту связь вряд ли можно считать надежной из-за больших отклонений от нее. По-видимому, более надежна зависимость убыли снега от количества осадков, выпадающих во время таяния (рис. 14 б). Рисунок показывает, что на тех станциях, где за месяц, в который тает снег, осадков выпадает менее 30 мм, высота снежного покрова при отрицательной температуре воздуха уменьшается на 50—90%. Иначе, на станциях, где весна (период таяния снега) сухая, снег в основном, а то и полностью сходит при отрицательной температуре воздуха.

На станциях, где весной осадков выпадает много, снег сходит преимущественно при положительной температуре воздуха и доля высоты сошедшего снега тем больше, чем больше выпадает осадков весной. Иначе, наперед заданная доля снега, например 50%, или весь снег сходит при тем более высокой температуре воздуха, чем больше выпадает осадков за период снеготаяния (табл. 14; рис. 14 в). На рис. 14 в и в табл. 14 осадки даны за тот месяц, в который чаще наблюдается таяние снега. Когда это происходит в течение двух месяцев, то дается полу-сумма месячных количеств осадков за оба месяца.

Можно предложить два объяснения последним связям. Первое: когда весной выпадает много осадков (а при низкой температуре они выпа-

дают в виде снега), происходит не уменьшение, а увеличение запасов снега. Убывать они начинают только при наступлении достаточно теплой погоды. При сухом климате весной этого не наблюдается, поэтому снег исчезает при более низкой температуре.

Второе: снег тает при тем более высокой температуре воздуха, чем больше облаков и чем они плотнее. В данном случае количество осадков является косвенной характеристикой облачности. Однако прямая связь

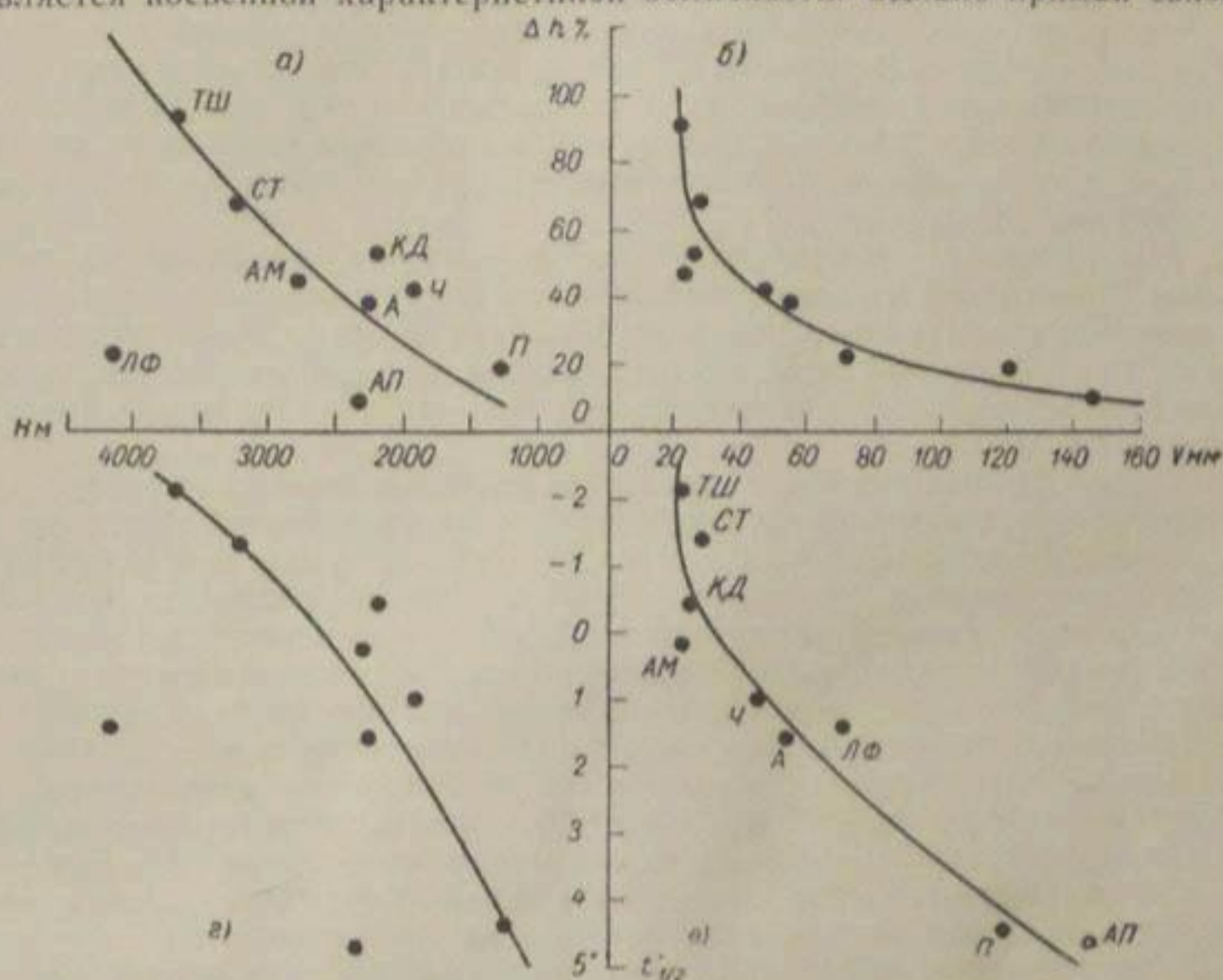


Рис. 14. Зависимость между средними многолетними величинами.

Δh — уменьшение высоты снежного покрова при отрицательной средней суточной температуре воздуха в % от высоты всего сошедшего снега; H — высота станции; σ — месячное количество осадков, выпавших за тот месяц, в который наблюдается таяние; $t_{1/2}$ — температура воздуха, при которой и ниже которой высота снежного покрова уменьшилась на половину.

облачности с температурой снеготаяния и с количеством снега, стаявшего при низкой температуре воздуха, отсутствует. Возможно, что принятые характеристики облачности (например, вероятность пасмурного неба) являются мало репрезентативными.

Цепочка связей (см. рис. 14) замыкается рис. 14 г, который еще раз показывает, что с повышением местности снег тает (и испаряется) при все более и более низкой температуре воздуха.

Можно было ожидать, что доля снега, исчезающего при отрицательной температуре воздуха, должна быть тем больше, чем меньше высота снежного покрова, наблюдающегося на данной станции. В самом деле, когда снежный покров тонкий, бесснежные места, являющиеся источниками загрязнения снежного покрова, встречаются чаще. Снежный покров должен обладать малым альбедо и тем самым способен таять и вообще исчезать при более низкой температуре воздуха. Далее, если высота снежного покрова мала, то это значит, что свежий снег увеличивающий альбедо, выпадает редко и поэтому такой снежный покров должен обладать пониженным альбедо и таять при более низкой темпе-

ратуре воздуха. В действительности количество снега, исчезнувшего при отрицательной температуре воздуха, от высоты снега не зависит.

Исчезновение снега при низкой температуре воздуха, по-видимому, происходит в значительной мере за счет испарения в противоположность таянию при высокой температуре, когда существенное испарение со снега невозможно [12].

Изложенное выше о количестве стаявшего снега относится к площадкам горных метеорологических станций, располагающихся на более или менее открытой горизонтальной местности, на которой снег залегает сравнительно равномерно. Для горных склонов разной крутизны и ориентации по странам света продолжительности солнечного сияния и т. д. в приведенные выше соотношения должны быть введены соответствующие поправки.

Из сказанного можно сделать заключение, что рассчитывать величины стаяния и вообще уменьшения мощности снежного покрова по температуре воздуха в горах Средней Азии по формулам, претендующим на годность для всех мест и всех времен года, не следует. В настоящее время имеется возможность детализировать их во времени и пространстве.

Итак, проверив наиболее распространенные методы составления долгосрочных прогнозов стока половодья по рекам Средней Азии, автор не нашел какого-либо преимущества их перед простыми методами, применяемыми ныне в управлениях гидрометслужбы республик Средней Азии. В этом отношении результат работы автора оказался негативным.

С другой стороны, автор, определив сущность каждого метода, нашел возможным выразить большинство из них в однообразном виде и тем самым подвел итоги достигнутого прогнозистами в деле предсказания стока горных рек. Теперь мы имеем возможность идти дальше, не боясь повторений пройденного и не боясь, что нас осудят за примитивный подход к делу, так как все то, что может быть сделано на более высоком научном уровне по сравнению с обычным уровнем, имеет право на существование, хотя бы сам уровень и не был высоким.

Нам придется изучать физико-географическую базу нашей региональной гидрологии и совершенствовать теорию, которая будет положена в основу изучения этой базы и составления на основе ее прогнозов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вавилов С. И. Исаак Ньютон. Изд. АН СССР, М., 1961.
2. Важинов А. Н. Схема расчета притока талых вод в малом горном бассейне. Труды ЦИП, вып. 39(66), 1955.
3. Гирник Е. И. Опыт прогноза водоносности реки Кассансай по высоте сезонной снеговой линии. Труды Ташкентской геофизической обсерватории, вып. 15(16), 1957.
4. Денисов Ю. М. Снеготаяние. Сборник работ аспирантов. Отделение технич. и геолого-химич. наук, вып. 1, изд. АН УзССР, Ташкент, 1958.
5. Машуков П. М. О некоторых ошибках в литературе по гидрологическим прогнозам. Изв. АН УзССР, сер. техн. наук, вып. 3, 1960.
6. Машуков П. М. Зависимость убыли снега от температуры воздуха в горах Средней Азии. Изв. Узб. филиала ВГО, т. VII, изд. АН УзССР, Ташкент, 1963.
7. Пособие по долгосрочным прогнозам стока горных рек в весенне-летний период. Под ред. Е. Г. Попова. Гидрометеоиздат, Л., 1952.
8. Попова Е. Г. Гидрологические прогнозы. Гидрометеоиздат, Л., 1957.
9. Харшан Ш. А. Долгосрочные прогнозы стока половодья горных рек Сибири. Гидрометеоиздат, М., 1958.
10. Шульц В. Л. Реки Средней Азии. Географиз, М., 1949.
11. Шульц В. Л. Таяние снежников (на примере района Большого Чимгана). Изд. АН УзССР, Ташкент, 1952.
12. Шульц В. Л. Таяние снежников в горах Средней Азии. Изд. АН УзССР, Ташкент, 1956.

ЛЕДНИКИ БАССЕЙНА РЕКИ АКСУ (ЛЕВОГО ПРИТОКА СЫР-ДАРЬИ)

По результатам экспедиционных работ даются полные сведения о количестве, размерах и высотном положении ледников, а также приводятся некоторые данные об условиях таяния и стока воды с них.

Режим и водоносность многих горных рек, как известно, в значительной мере определяются количеством и условиями залегания имеющихся в их бассейнах ледников. Для условий Средней Азии это обстоятельство особенно важно потому, что талые воды из области ледников стекают по рекам в наиболее теплую часть года, т. е. как раз тогда, когда особенно остро ощущается недостаток в воде для орошения. К сожалению, до сих пор о современном оледенении большей части речных бассейнов Средней Азии достаточно полных сведений не имеется. Поэтому отделом гидрологических исследований Среднеазиатского научно-исследовательского гидрометеорологического института (САНИГМИ) с 1958 г. ведутся систематические работы по учету и описанию ледников в бассейнах наиболее важных рек. Так, в 1960 г. закончено обследование ледников в бассейне р. Чаткал, в 1961 и 1962 гг. — в бассейнах рек Аксу и Ходжабакырган.

Настоящая статья является сводкой основных результатов обследования ледников, имеющихся в бассейне р. Аксу, проведенного экспедицией САНИГМИ с 6/VIII по 6/IX 1961 г. Кроме автора, в осмотре, дешифрировании и описании ледников принимали участие Н. В. Петров, А. А. Яблоков, А. А. Аппин, Д. Каримов и А. И. Яковлева.

При обследовании оледенения этой реки в поле выполнялись следующие основные работы и наблюдения:

1. Осмотр всех доступных ледников бассейна р. Аксу и уточнение контуров их на аэрофотоснимках, сделанных в июле этого же года.
2. Определение барометрическим способом с помощью гипсотермометра и анероидов-высотомеров высоты нижней границы ледников и фирновой линии, где это было возможно.
3. Краткое описание осмотренных ледников и условий стока талых вод с них.
4. Нанесение на аэрофотоснимки фирновой границы и площади ледников, покрытой мореным материалом.

В целях более точного определения площади, занятой ледниками, фиксировались все скопления льда в бассейне этой реки, включая и

сравнительно небольшие ледники, имеющие линейные размеры более 0,3 км.

Насколько нам известно, ранее ледники верховьев Аксу были осмотрены летом 1934 г. геологическим отрядом Таджикско-Памирской экспедиции в составе Н. В. Ионина, И. А. Деонисьяк и С. А. Шафранова. Осмотр был проведен попутно с выполнением геологических работ, и поэтому в отчете имеются в основном только общие указания о наличии ледников в тех или иных долинах и приближенные данные о длине и ширине некоторых из них. Большая часть осмотренных отрядом ледников показана на геологической карте, правда, без определения их контуров [2]. Некоторые сведения о ледниках, приводимые этими авторами, с результатами наших наблюдений не совпадают. Например, в этой работе сказано, что долина правого притока р. Гудундук заполнена моренами и, вероятно, лежащим под ними льдом. По нашим же данным, здесь находятся два ледника. В верховьях р. Куль имеется два ледника, а по нашим данным, — только один, в истоках р. Джакрут — один ледник, а по нашим данным, — три. Не показаны в работе [2] три ледника в верховьях р. Джасылькуль, и т. д.

На современных топографических картах количество, размеры и местоположение большей части ледников в бассейне р. Аксу показаны неправильно. Например, в верховьях р. Шибароб показан один ледник, а их там оказалось три. Совсем не показаны ледники Чакрыгазы и Джакрут и т. д. Всего по этим картам в бассейне р. Аксу насчитывается 26 ледников общей площадью 27 км², по нашим же данным, там фактически имеется 36 ледников, покрывающих площадь только 22,9 км².

Ниже приводятся краткие сведения о р. Аксу и ее ледниках. Более подробные цифровые данные по каждому леднику в отдельности даны в каталоге в конце статьи. Все приводимые высотные отметки даны в метрах над уровнем моря, определены они главным образом путем барометрического нивелирования. Менее надежные отметки высот, полученные приближенно с картографических материалов, заключены в скобки. Размеры ледников взяты с плановых аэрофотоснимков. Средний масштаб аэроснимка для каждого ледника определялся отдельно, в зависимости от его средней высоты, за которую принималось среднее арифметическое из отметок нижней и верхней границ ледника.

Общие сведения о реке Аксу и ее ледниках

Река Аксу (Оксу) впадает в Сыр-Дарью слева, между городами Ленинабад и Беговат. Бассейн ее расположен на северных склонах Туркестанского хребта. Южной границей водосбора на протяжении 60 км является основной гребень этого хребта с отметками высот 4000—5100 м над уровнем моря. От гребня основного хребта, имеющего здесь широтное направление, на север отходит большое число сравнительно коротких отрогов, между которыми расположены долины левых притоков Аксу (рис. 1). Все ледники этого бассейна, за исключением трех, находятся в верховьях этих левых притоков в наиболее высокой, пригребневой части Туркестанского хребта, поэтому большинство ледников этого бассейна имеет северную экспозицию, а остальная часть северо-западную и северо-восточную. Три (первые по каталогу) ледника в истоках р. Джасылькуль находятся на западном склоне отрога главного хребта, являющегося водораздельным между бассейнами рек Аксу и Ходжабакырган.

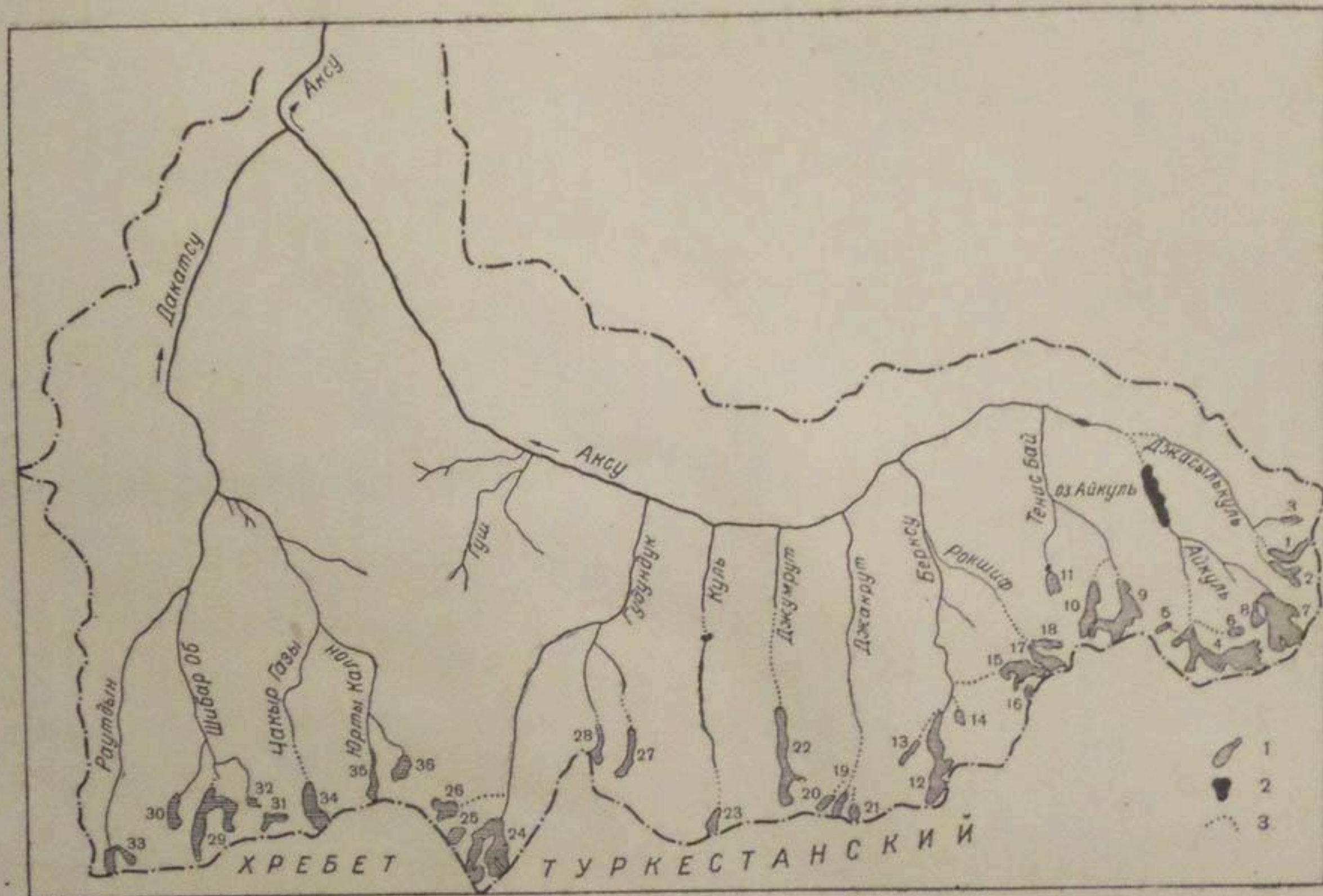


Рис. 1. Схема расположения ледников в бассейне р. Аксу.

1 — ледники; 2 — озера; 3 — участки речных долин, где обычный поверхностный сток воды в русле отсутствует.

С севера верхняя часть водосбора р. Аксу ограничивается гребнем гор Акташ, который не поднимается выше 3600 м над уровнем моря, и поэтому ледников на нем нет. Наоборот, в истоках левых притоков Аксу, стекающих к северу от гребня Туркестанского хребта, ледники имеются.

Как уже было сказано, всего в бассейне Аксу имеется 36 ледников, имеющих линейные размеры более 0,3 км. Из этого числа ледников длиной более 1 км насчитывается 24, а ледников площадью более 0,5 км² — 13. Наиболее значительными являются ледники Джумрут длиной 4,1 км и площадью 1,37 км² и Гудундук основной длиной 3,0 км и площадью 2,52 км².

Общая площадь всех ледников, имеющих в этом бассейне, равна 22,9 км², что составляет 3% площади водосбора р. Аксу до гидрометрического поста Дазгон, равной 713 км².

Некоторое представление о роли ледников в питании р. Аксу можно составить, исходя из следующих соображений. Средний многолетний расход воды в р. Аксу по посту Дазгон за июль—август составляет 8,5 м³/сек. Для того чтобы получить такой расход воды, достаточно, чтобы со всей площади ледников, имеющих в бассейне, ежедневно в это время стаял слой льда толщиной 3,5 см. Фактически же величина ежедневного стаяния на ледниках этого района может быть 2, 3, 5 см и более, в зависимости от степени загрязненности и экспозиции поверхности ледников. Для ледников Аксу, значительная часть поверхности которых покрыта чехлом морен, среднюю для всей их площади величину ежедневного стаяния можно принять равной 2—3 см; значит, в июле—августе сток воды в р. Аксу не менее чем на 57—86% формируется за счет таяния ледников.

Типы и высотное положение ледников

По типам ледники бассейна распределяются следующим образом: долинных 22, каровых 6, висячих 6 и шлейфовых 2. Как видим, на северных склонах Туркестанского хребта в пределах бассейна р. Аксу преобладают ледники долинного типа. При этом, однако, следует сказать, что некоторые из ледников, отнесенные нами к типу долинных, имеют очень короткие языки, едва выходящие из тыльной части долины, являющейся их областью питания. Но относить такие ледники к категории, например, каровых, висячих, шлейфовых и других нет оснований, так как они находятся не на склоне, не в каровой выемке, а в тыльной части долины и язык их заполняет дно долины, хотя и на очень небольшом протяжении (рис. 2).

Многие из ледников Аксу обладают всеми признаками, определяющими категорию ледников так называемого туркестанского типа [4]. Это — ледники, не имеющие развитой области питания, т. е. обширного фирнового бассейна. Питание их осуществляется главным образом за счет снежных масс, обрушивающихся или сползающих с окружающих крутых склонов непосредственно на ледник. Языки таких ледников почти сплошь покрыты сравнительно толстым слоем моренного материала. Таковы ледники № 4, 22, 27—30, 33—35.

Сползание свежавыпавшего снега (толщиной 10—20 см) со склонов непосредственно на дно долины, занятое ледником, нам удалось наблюдать даже летом на леднике Джумрут 11/VIII 1961 г.

Многие ледники бассейна р. Аксу начинаются неширокими полосами фирна и льда, круто, а иногда в виде ледопадов опускающимися со склонов на дно долины.

На поверхности ледника, имеющей обычно небольшой уклон (порядка $10-15^\circ$), сразу же появляется моренный материал. Вначале это только отдельно лежащие камни и щебень, а по мере продвижения вниз моренный покров становится сплошным и толщина его к концу языка увеличивается, доходя местами до 1 м. Чаще всего свободной от морен оказывается только неширокая полоса льда, примыкающая непосредственно к крутым склонам тыльной части долины.



Рис. 2. Характерные формы ледников бассейна р. Аксу в плане.
1 — гребни гор; 2 — фирновая линия; 3 — поверхность ледника, покрытая слоем моренного материала.

В этом же бассейне имеется небольшое число ледников, языки которых совсем или большей частью свободны от морен; таковы ледники № 7, 9, 10, 12 и др.

Как сказано выше, концы многих ледников р. Аксу погребены под толстым слоем моренного материала. Часть ледников, спускаясь со склонов ко дну долины, сразу же закрывается в толще моренных отложений, меньшая часть ледников оканчивается крутыми лбами, свободными от морен. При дешифрировании аэроснимков нижняя граница ледников в большинстве случаев определялась достаточно уверенно. В тех случаях, когда под слоем морен действительная граница льда была незаметна, на аэроснимках она показывалась нами там, где «живое» тело ледника еще ясно видно под моренами, — в трещинах, провалах, обрывах, озерах и т. д.

Сводные данные о высотном положении ледников р. Аксу приведены в двух первых строках табл. 1. Они показывают, что нижняя граница ледников здесь находится на высоте 3400—4000 м над уровнем моря (почти половина всех ледников оканчивается на высоте 3800—4000 м). Наиболее низко, до высоты 3440 м, опускается конец самого

длинного ледника Джумрут, а также ледника № 35 (до высоты 3450 м), находящегося в долине р. Юртыкалон.

Наиболее высоко находится ледник № 16, оканчивающийся приблизительно на отметке 4800 м. Этот ледник нетипичен для данного бассейна. Он представляет собой скопление фирна и льда на высоком северном склоне, где условия оказались благоприятными для накопления снега.

Из числа типичных для этого района ледников наиболее высоко, т. е. на отметках около 4000 м, оканчиваются ледники Раутдын и Гудундук (№ 33, 25 и 26). Средняя взвешенная (по площади) высота концов всех ледников Аксу равна 3670 м. Для сравнения в третьей строке этой же табл. 1 дано распределение по зонам высоты концов обследованных нами ледников более северного и лучше увлажняемого бассейна р. Чаткал. Приведенные величины показывают, что в бассейне этой реки ледники опускаются значительно ниже. Так, концы почти пятой части ледников Чаткала опускаются в зону высот 3200—3400 м, а средняя взвешенная высота концов ледников здесь только 3490 м, т. е. на 180 м ниже, чем в бассейне р. Аксу.

Таблица 1

Распределение ледников по высотным зонам

Бассейн реки, единица измерения	Число ледников в бассейне						
	всего	из них оканчиваются на высоте (от—до), м над уровнем моря					
		3200—3400	3400—3600	3600—3800	3800—4000	4000—4200	выше 4200
Аксу, число	36	0	11	8	15	1	1
Аксу, %	100	0	30	22	42	3	3
Чаткал, %	100	18	51	26	5	0	0

Бассейн реки, единица измерения	Площадь ледников в бассейне									
	всего	в том числе на высоте (от—до), м над уровнем моря								
		ниже 3200	3200—3400	3400—3600	3600—3800	3800—4000	4000—4200	4200—4400	4400—4600	выше 4600
Аксу, км ²	22,9	0	0	1,1	3,5	5,4	6,2	3,8	2,2	0,7
Аксу, %	100	0	0	5	15	23	27	17	10	3
Чаткал, %	100	0	3	26	42	24	5	0	0	0
Северные склоны Джун- гарского Алатау, %	100	5	23	36	24	9	2	1	0	0

Для расчетов времени освобождения ледников от сезонного снежного покрова, продолжительности и интенсивности их таяния важно знать высотное положение площадей, занятых ледниками. Поэтому в нижней половине табл. 1 приводится распределение площади ледников

по высотным зонам бассейна р. Аксу в абсолютных значениях и в процентах от их общей площади. Площадь льда в каждой зоне вычислена приближенно, предполагая, что между нижней и верхней границами ледника площадь его распределяется равномерно.

Для сравнения в двух нижних строках нижней половины табл. 1 дано распределение площади льда по высотным зонам в бассейне р. Чаткал и на северных склонах Джунгарского Алатау [1]. Эти данные показывают, насколько может быть значительна разница в высотном положении ледников, находящихся в разных горных системах Средней Азии. Так, на склонах Джунгарского Алатау наибольшая часть площади, покрытой льдом, находится на высотах 3400—3600 м, в бассейне р. Чирчик — на высотах 3600—3800 м, а в бассейне р. Аксу — на высотах 4000—4200 м.

На 18 ледниках бассейна р. Аксу в период их обследования определение высоты фирновой границы производилось барометрическим способом. Результаты этих определений (см. каталог ледников) показывают, что граница фирна в августе и начале сентября малоснежного 1961 г. находилась здесь на высотах 3680—4230 м и в среднем на высоте 4020 м. Наиболее низко, т. е. на высоте 3680 м, она отмечена на леднике № 35 в бассейне р. Юртыкалон. Это ледник, заполняющий очень узкую долину, фирновый бассейн его представлен всего лишь неширокой полосой загрязненного фирна на подошве тыльного склона долины. По-видимому, положение границы фирна здесь нехарактерно для ледников бассейна Аксу.

Наиболее высоко граница фирна зафиксирована на ледниках № 3, 2 и 5 в самой восточной и западной частях бассейна Аксу, где она поднимается до 4200—4300 м. Какой-либо закономерности в изменении высоты фирновой границы в пределах бассейна данной реки не усматривается.

На остальных 18 ледниках Аксу высота фирновой границы не определялась потому, что в некоторых случаях она недоступна для непосредственного определения, но большей частью потому, что она на ледниках выражена не ясно. Дело в том, что многие ледники не имеют развитых, обширных фирновых бассейнов, как это имеет место у альпийских ледников; вместо этого здесь зачастую область фирна представлена в виде узких языков, свисающих с очень крутых склонов долины, на которых границу фирна определить невозможно.

Следует отметить, что в 1934 г., по определению Н. В. Ионина и др. [2], граница фирна на леднике Берксу № 12 находилась на высоте 3850 м, по нашим определениям, — на высоте 3870 м, т. е. за истекшие 28 лет, положение ее почти не изменилось.

О высоте фирновой границы на ледниках соседней с бассейном Аксу реки можно привести следующие данные. На леднике Тамынген в бассейне р. Исфары, по непосредственным определениям автора в 1938 г., фирновая граница была на высоте 4180 м. Средняя же по бассейну Исфары высота этой границы, по вычислениям и определениям, выполненным в разное время и разными авторами, равна 4090 м [3]. Эти цифры свидетельствуют о том, что средняя высота границы фирна в бассейне р. Аксу примерно согласуется с высотой ее в соседнем бассейне р. Исфары.

Небезынтересно отметить, что, с одной стороны, языки всех ледников бассейна р. Аксу (не считая ледника № 16) опускаются ниже средней высоты фирновой линии, с другой стороны, здесь имеется несколько ледников (№ 14, 31, 32, 35 и 36), высота верхней границы которых близка к средней высоте границы фирна или даже несколько ниже ее.

Это подтверждает высказанные выше соображения о том, что питание многих ледников этого бассейна осуществляется за счет концентрации на их поверхности снега, поступающего с окружающих крутых склонов гор, где снег обычно не задерживается.

Сведения об отдельных ледниках и вытекающих из них реках

Основные цифровые данные о всех ледниках бассейна р. Аксу, как уже было сказано, даны в каталоге ледников в конце статьи. Ниже приводятся только краткие заметки о характерных особенностях отдельных ледников или их групп, а также об условиях стока талых вод от этих ледников.

Названия или местоположение ледников даются в упомянутом выше каталоге, здесь же даются только номера ледников по каталогу, которые показаны также на схеме расположения их в бассейне р. Аксу (рис. 1).

№ 1. Основной ледник в истоках р. Джасылькуль. Областью питания его служат скопления снега, обрушивающегося с левого, очень крутого северного склона долины. Язык ледника заполняет все дно долины. Он покрыт толстым слоем моренного материала. На его поверхности есть небольшие озера, ледяные берега которых имеют высоту до 10—20 м. Талые воды ледника фильтруются в морены и выходят в русло реки в 0,4 км ниже конца ледника.

№ 2. Фирновый бассейн ледника расположен высоко, вблизи гребня гор, лед с крутого уступа стекает на дно долины. Большая часть языка ледника скрыта под слоем моренного материала. Талые воды этого, так же как и предыдущего, ледника теряются в нагромождениях морен и выходят на дневную поверхность в долине р. Джасылькуль вместе с водами ледника № 1.

№ 3. Каровый ледничок с ясно выраженной областью питания и свободным от морен языком, сходящим по толщине на нет. Ручей начинается непосредственно от конца ледника.

№ 4. Главный ледник левой составляющей р. Айкуль. Область питания его обширна. От нее по некрутому дну долины тянется покрытый мореной язык, который оканчивается крутыми стенками льда. Слева в этот основной ледник впадают два притока. Оба они питаются снегом, падающим с очень крутых тыльных склонов их долин. Очень мутные талые воды этого ледника теряются в рыхлообломочном материале, заполняющем дно долины, и уже осветленными выходят в русло реки в 1,6 км ниже конца ледника.

№ 5. Небольшой висячий ледничок с ясно очерченным, почти чистым языком. Ручей от него уходит под другой ледник, являющийся нижним притоком ледника № 4.

№ 6. Небольшое скопление льда под северным склоном долины, покрытым фирновым полем. Поверхностного стока воды от него нет.

№ 7. Из обширного трехкамерного цирка, заполненного фирном и льдом, вытекает широкий, но сравнительно короткий язык. Он почти свободен от моренного материала и оканчивается крутым, несколько раздвоенным лбом на небольшом уступе в коренных породах дна долины. Ручей начинается непосредственно от языка ледника.

№ 8. Каровый ледничок с сильно вытянутым узким языком, который соединяется с концом языка ледника № 7. Поверхность языка покрыта чехлом моренного материала. Ручей, начинающийся от конца языка, впадает в ручей главного ледника.

№ 9. Обширная циркообразная область питания. Язык вытянутый, нижняя половина его закрыта мореной. На поверхности языка имеются

небольшие озера. Вода от ледника слабо мутная, появляется в русле реки в 0,2 км ниже конца ледника.

№ 10. Этот ледник в области питания фирновым полем соединяется с ледником № 9. Хотя площадь фирновых полей небольшая, язык этого ледника хорошо развит. Он заполняет все дно долины на значительном протяжении и концом зарывается в нагромождения морен. Талые воды этого ледника выклиниваются в русле основной р. Тенисбай в 1 км ниже конца языка.

№ 11. Висячий ледник с ясно очерченным фирновым полем на северном склоне долины, часть языка покрыта мореной. Ручьи от ледника впадают в моренно-подпрудное озеро в 70—80 м ниже конца языка. Озеро имеет размеры 180×300 м, температура воды в нем в августе 1961 г. была 13°. Из него вытекает ручей, местами теряющийся в галечниках русла и впадающий слева в р. Тенисбай.

№ 12. Главный ледник в бассейне р. Берксу. Область питания — фирновые поля на тыльном и правом склонах долины. Лед из основной области питания круто, с разрывом стекает на дно долины. По краям языка находится тонкий слой морен, конец его покрыт мореной толщиной 20—50 см. Оканчивается язык лбом крутизной порядка 40°, но виден он только на небольшом участке. Толщина льда на конце языка 20—30 м. Река Берксу начинается непосредственно от конца этого ледника.

№ 13. Скопление льда на плоской вершине левого склона долины главного ледника (№ 12). На уступе видна стена льда около 15 м толщиной. От этого скопления вниз по склону крутизной около 40° опускается, зарываясь в морены, язык ледника. С главным ледником этот поток льда не соединяется.

№ 14. Каровый ледничок, язык которого погребен в моренном материале. Поверхностного стока воды от него нет.

№ 15. Фирновый бассейн этого ледника образуется массами снега, падающего в тыльную часть долины с ее крутых северо-западных склонов. Большая половина широкого языка ледника покрыта тонким слоем моренного материала. Конец языка скрывается под моренным чехлом, так что граница его определена приближенно. Дно долины ниже ледника завалено осыпями и моренным материалом, в котором теряются талые воды ледника. На дневной поверхности в русле они появляются в 1,1 км ниже конца ледника, где дно долины сложено коренными породами. Здесь река водопадом высотой около 25 м падает в главную долину р. Берксу.

№ 16. Висячий ледничок на слабо наклоненной плоской вершине над ледником № 15. Глыбы льда и фирна от этого ледничка временами обрушиваются на ледник № 15.

№ 17. Ледник более или менее правильной формы: относительно широкая область питания и вытянутый язык. В нижней части язык сильно сужается, так как заполняет дно узкого ущелья с крутыми скальными склонами. Поверхность его здесь вогнута. Оканчивается ледник круто падающим лбом чистого льда. Талые воды этого ледника появляются в русле реки в виде родников в 1,3 км ниже конца ледника.

№ 18. Скопление фирна и льда, которое трудно отнести к какому-либо типу ледника. Снежные поля, питающие ледник, покрывают северо-западный склон почти от гребня гор. Верхняя часть их отделяется от нижней обнажениями скал. Язык ледника покрыт мореной. Талые воды его, так же как и ледника № 17, выклиниваются в виде родников из древней морены в 1,1 км ниже конца языка.

№ 19. Из верхней, подвешенной части долины, заполненной фирном и льдом, поток льда круто, почти ледопадом, стекает на дно долины и зарывается в отложения морен. Ниже видимого языка имеются небольшие озерки. Река Джакрут начинается из родников в 2 км ниже этого ледника.

№ 20. Ледник в каровой выемке на левом склоне основной долины Джакрут. Язык его лежит на дне кара в 20—25 м выше языка главного ледника (№ 19). В обрыве правого бока ледника толщина льда порядка 15 м. От него глыбы льда временами падают на основной ледник.

№ 21. Небольшой ледник в правой вершине основной долины р. Джакрут. Питается снегом с тыльных северных склонов долины. Свободный от морен язык ледника под углом около 45° опускается в небольшое озерко. Поверхностного стока воды от этого ледника нет.

№ 22. Фирновый бассейн этого ледника по площади в два раза меньше его языка. Язык сильно вытянут, большая часть его покрыта слоем мелкозема и щебня из черного сланца толщиной от 5—10 см до 1 м. На поверхности языка, имеющей уклон всего около 10° , много трещин и озер глубиной до 15 м. Поверхностного стока воды от ледника нет. Сток воды в русле этой долины появляется только в 3,3 км ниже ледника.

№ 23. Неширокая (0,3—0,4 км) полоса фирна и льда круто спускается от самого гребня гор по тыльному склону долины р. Куль. Правый бок языка ледника — отвесная стена высотой 15—20 м. Поверхность языка имеет уклон около 30° , покрыта тонким слоем моренного материала. Конец ледника лежит на уступе у левого края долины. Ниже ледника на протяжении 1,3 км долина заполнена моренами, поверхностного стока воды по ней нет. Река Куль начинается из обрыва последней древней морены.

№ 24. Ледник состоит из двух ветвей, сливающихся в один общий язык. Питается язык из четырех обособленных фирновых полей, опускающихся с тыльных склонов циркообразного расширения основной долины р. Гудундук. Правая и левая ветви ледника разделяются острым невысоким гребнем коренных пород. Нижняя половина языка ледника покрыта толстым (до 1 м) слоем моренного материала (глинистый сланец). От конца этого ледника начинается р. Гудундук (Кулундук).

№ 25. Это висячий ледничок на левом склоне долины главного ледника (№ 24). Он не доходит до дна долины и с главным ледником не соединяется. К левому боку главного ледника от него идет только полоса морен. Талые воды висячего ледничка фильтруются в толщи морен.

№ 26. Из фирновых полей в расширенной верхней части долины (на северо-восточном склоне горы Пирях) вытекает очень короткий язык. Границы его ясно очерчены. Поверхностного стока от ледника нет. Ледник находится в тыльной части подвешенной труднодоступной долины.

№ 27. Типичный ледник туркестанского типа. От очень небольшого фирнового поля тянется узкий, относительно длинный язык, покрытый слоем моренного материала толщиной от 10—20 см до 1 м. Свободная от морен поверхность языка ледника имеется только в полосе шириной несколько десятков метров у подошвы тыльного склона долины вблизи границы фирна. Ниже вся поверхность льда покрывается рыхлообломочным материалом темного глинистого сланца. Поверхностный сток талых вод этого ледника появляется в русле реки только в 2 км ниже конца ледника.

№ 28. Ледник такого же типа, как и предыдущий. Находится в узкой, труднодоступной долине. Река, текущая от него, начинается в 0,8 км ниже конца языка и протекает по теснине, образуя водопады.

№ 29. Ледник заполняет дно сравнительно узкой долины. Выпуклая в середине поверхность языка, за исключением узкой полосы у подошвы тыльного склона долины, покрыта толстым слоем рыхлообломочного материала из глинистого сланца. В области питания ледник не расширяется, как обычно, а даже сужается, так что фирновый бассейн его по площади во много раз меньше площади языка.

Справа в основной поток льда впадает приток из обособленной области питания. Характерно, что морены этого притока резко отличаются от морен основной долины, так как состоят из обломков светлых мраморовидных пород. Талые воды ледника выходят на дневную поверхность в русло реки в 0,8 км ниже ледника.

№ 30. Небольшой ледник с ясно очерченными областью питания и языком. Вытекающий из фирнового поля язык сразу же покрывается моренным чехлом толщиной 15—20 см, а конец его упирается в выходы коренных пород долины. Из грота в середине конца ледника начинается ледниковый ручей. Ледник находится в подвешенной долине на левом склоне главной долины.

№ 31. Из фирновых полей, покрывающих северо-западные склоны верхнего расширенного участка долины, вытекает короткий язык льда. Он покрыт мореной мощностью до 50 см и оканчивается несколько выше небольшого подпрудного озера, образовавшегося на дне долины. В этом озере собираются воды, стекающие из области ледника. Поверхностного стока воды из озера не имеется.

№ 32. В этой же долине, кроме ледника № 31, ниже озера имеется еще один ледник, представляющий собой небольшое скопление льда на дне долины под крутым северо-восточным склоном. Этот ледничок с ровной поверхностью, наклоненной под углом 10—35°, не имеет обычной для ледников области питания и пополняется, видимо, снегом, приносимым ветром и обрушивающимся с крутых склонов долины. Ручей от этого ледника стекает водопадом по скальному руслу долины.

№ 33. Долина р. Раутдын в верховьях раздваивается. Из обеих ее вершин в главную долину выходят и сливаются потоки льда. Правая ветвь не имеет фирнового бассейна, весь язык скрыт под моренным чехлом. Левая ветвь, по которой идет тропа на перевал, начинается от фирнового поля, покрывающего северный склон долины. Поверхность льда этой ветви только наполовину покрыта моренным материалом. Общий язык обеих ветвей ледника упирается в ригель, перегораживающий долину. Река Раутдын начинается непосредственно от конца ледника.

№ 34. От гребня Туркестанского хребта по северному склону ко дну долины р. Чакыргазы опускается фирновое поле. От него вниз, занимая все дно долины, тянется язык ледника, покрытый чехлом морен толщиной до 70 см. На поверхности языка много озер и провалов глубиной до 20—30 м. Талые воды от этого ледника выклиниваются в русло реки в 2 км ниже конца ледника.

№ 35. Ледник заполняет очень узкую, с крутыми скалистыми склонами долину р. Юртыкалон. Небольшая часть поверхности северо-восточных склонов в верхней части этой долины покрыта фирном, от него сразу начинается язык ледника, покрытый толстым слоем морен. Поверхность языка ледника вогнута и имеет небольшой уклон вниз по долине. Оканчивается ледник крутым лбом. Река Юртыкалон начинается родниками из древней морены этого ледника.

№ 36. Ледник заполняет короткую подвешенную долину или удлиненную каровую выемку. Крутые склоны над ледником свободны от

снега. Видимо, он обрушивается на поверхность ледника. Поверхностный сток воды от ледника отсутствует.

Условия стока воды от ледников

Как сказано выше, языки большей части ледников бассейна р. Аксу покрыты моренным материалом. Степень покрытия при этом весьма различна. Меньшая часть площади имеет такой моренный покров, который способствует более интенсивному таянию льда, большая же часть площади ледников покрыта слоем морен толщиной от 10—15 см до 1 м, т. е. таким, который в зависимости от толщины слоя в той или иной мере предохраняет поверхность ледника от таяния. Некоторое суждение о влиянии толщины слоя морен на интенсивность таяния можно составить, например, по наблюдениям, проведенным УГМС Таджикской ССР в 1961 г. на леднике Медвежьем. Эти наблюдения показали, что за два с половиной летних месяца с поверхности ледника, покрытой очень тонким слоем морен, стоял слой льда толщиной 515 см, под слоем толщиной 5 см за это же время стояло только 340 см, под слоем 10 см — 330 см, под слоем 15 см — 305 см и под слоем толщиной 20 см стоял слой льда толщиной 250 см.

При осмотре ледников Аксу нами на аэрофотоснимках приблизительно выделялись на поверхности ледников площади, покрытые сплошным слоем морен толщиной более 10—15 см, т. е. таким, который существенно уменьшает величину таяния льда. На семи ледниках сколь угодно значительных площадей, покрытых толстым слоем морен, не оказалось. На остальных 29 ледниках площади, покрытые толстым слоем морен, составляют 13—89% общей площади ледника. Всего по бассейну р. Аксу площадь льда, покрытая слоем морен, существенно снижающим интенсивность таяния, оказалась равной 8,1 км², что составляет 35% всей площади ледников. Путем аналогичных подсчетов получено, что 32% всей площади ледников представлено чистой или слабо загрязненной поверхностью льда и остальные 33% — фирновыми полями. Таким образом, при расчетах интенсивности таяния ледников и возможного поступления талых вод в русло реки должны быть приняты во внимание указанные выше площади чистого льда, покрытого слоем морен, и фирновых полей.

Талые воды 10 ледников бассейна р. Аксу стекают обычным образом, т. е. поверхностными водотоками, начинающимися непосредственно от концов этих ледников. От остальных же 26 ледников поверхностного стока воды нет. Талые воды их сначала фильтруются в толще моренных отложений и только на некотором (иногда значительном) расстоянии от ледников выклиниваются на дневную поверхность в виде одного или нескольких родников, которые уже формируют обычный русловой поток.

Расстояние от концов ледников до места выхода их талых вод на дневную поверхность, т. е. длина участка долины, который талые воды проходят подземным путем, меняется в широких пределах: от 0,2 до 3,3 км. Эти цифры показаны в последней графе каталога ледников, а на схеме расположения ледников обозначены участки, проходимые талыми водами подземным путем. Естественно предполагать, что на участках долин с подземным стоком талых ледниковых вод происходит некоторая задержка стока во времени или регулирование его, в частности распластывание или сглаживание суточной волны стока, обычно наблюдающейся у самых концов ледников. Для проверки этого обстоятельства на нескольких реках, текущих от ледников, нами проводились

Каталог ледников бассейна р. Аксу

№ ледника по схеме	Названия ледников (по названиям рек) и местоположение их	Общая экспозиция	Размеры ледника		Высота, м		Площадь ледника, покрытая моренами, в ‰ от общей площади ледника	Тип ледника	Расстояние от конца ледника до места выхода его талых вод на дневную поверхность в русло реки, км
			длина, км	площадь, км²	нижней границы ледника	фирновой линии			
1	Джасылькуль основной средний	СЗ	2,5	0,68	3980		63	Долинный	0,4
2	Джасылькуль южный левый	СЗ	1,6	0,33	3750	(4200)	51	"	0,7
3	Джасылькуль в истоках первого правого притока	СЗ	0,8	0,11	4000	4110	0	Каровый	0,0
4	Айкуль основной в истоках левой составляющей	СЗ	3,8	2,12	3560		32	Долинный	1,6
5	Айкуль на левом склоне против конца основного ледника	СВ	0,6	0,08	(3700)	4200	0	Висячий	2,5
6	Айкуль в истоках первого правого притока	З	0,6	0,16	(3900)		13	Шлейфовый	2,7
7	Айкуль основной в истоках правой составляющей	СЗ	2,4	1,82	3860	4030	0	Долинный	0,0
8	Айкуль на левом склоне долины правой составляющей	С	0,9	0,22	3860	3940	64	Каровый	0,0
9	Тенисбай основной восточный правый	СЗ	3,2	1,52	3580	4100	23	Долинный	0,2
10	Тенисбай западный в истоках первого левого притока	С	2,0	0,67	3790	4070	15	"	1,0
11	Тенисбай в истоках второго левого притока	СЗ	0,8	0,36	4000		42	Висячий	0,0
12	Берксу основной в главной долине	С	3,7	1,47	3580	3870	21	Долинный	0,0
13	Берксу на левом склоне основной долины	С	1,1	0,23	(3670)		22	Висячий	1,3
14	Берксу в истоках первого правого притока	С	0,8	0,22	(3480)		(50)	Каровый	0,6
15	Берксу в истоках второго правого притока, основной	СЗ	1,8	0,79	3910	4040	40	Долинный	1,1
16	Берксу на левом склоне второго правого притока	С	0,4	0,06	(4800)		0	Висячий	2,0
17	Рокшиф основной левый	СЗ	1,8	0,48	3820	4180	27	Долинный	1,2

№ ледника по схеме	Названия ледников (по названиям рек) и местоположение их	Общая экспози- ция	Размеры ледника		Высота, м		Площадь ледника, покрытая моренами, в ‰ от общей площади ледника	Тип ледника	Расстояние от конца ледника до места выхода его талых вод на дневную поверхность в русло реки, км
			длина, км	площадь, км ²	нижней гра- ницы ледника	фирновой линии			
18	Рокшиф северный правый	СЗ	1,2	0,23	3820	4180	17	Висячий	1,1
19	Джакрут основной средний	С	1,0	0,23	3780		17	Долинный	2,0
20	Джакрут западный левый	СВ	0,7	0,14	(3860)		0	Каровый	2,3
21	Джакрут восточный правый	С	0,6	0,12	3880		0	Долинный	2,3
22	Джумрут	С	4,1	1,37	3440	3820	49	*	3,3
23	Куль в правой основной долине	С	1,2	0,35	3770		28	Висячий	1,3
24	Гудундук (Кулундук) основной в главной до- лине	С	3,0	2,52	3450		24	Долинный	0,0
25	Гудундук на левом склоне у основного лед- ника	СВ	0,8	0,25	(4000)		16	Висячий	0,0
26	Гудундук в истоках левого притока	СВ	0,7	0,43	(4000)		0	Каровый	1,3
27	Гудундук в истоках правой составляющей пра- вого притока	С	2,2	0,62	3600	3810	51	Долинный	2,0
28	Гудундук в истоках левой составляющей пра- вого притока	С	1,8	0,46	(3600)		(50)	*	0,8
29	Шибароб основной средний с правым прито- ком	С	3,1	1,67	3470	3820	68	*	0,8
30	Шибароб в истоках первого левого притока . .	С	1,3	0,35	3940	4060	54	*	0,0
31	Шибароб в истоках первого правого притока, выше озера	СЗ	1,0	0,30	3910		67	*	0,7
32	Шибароб в истоках первого правого притока, ниже озера	С	0,6	0,09	3700		78	Шлейфовый	0,0
33	Раутдын	С	1,0	0,46	4010	4230	89	Долинный	0,0
34	Чакыргазы	С	2,3	1,08	3630	3930	43	*	2,0
35	Юртыкалон западный левый	С	2,0	0,40	3450	3680	85	*	0,2
36	Юртыкалон восточный правый	С	1,1	0,52	(3600)		(50)	Каровый	1,6

кратковременные наблюдения над уровнем воды, которые показали следующее.

В р. Куль, в 2—3 км выше озера (см. рис. 1), в течение первых суток наблюдений уровень воды не изменялся. Дожди, выпадавшие в течение следующих суток, вызвали повышение уровня на 2 см. В р. Джакрут, в 4 км от устья, в течение 12—14/VIII 1961 г. уровень воды понизился на 1,5 см. В р. Берксу, вытекающей непосредственно из ледника, в 5 км от устья наблюдался суточный ход уровня с амплитудой 8 см. Не обнаружено суточного хода уровня воды в реках Чакрыгазы (правый приток р. Гудундук) и Джасылькуль (ниже завала).

Некоторое влияние на ход стока талых вод от ледников оказывают также озера, имеющиеся в следующих долинах: в долине р. Айкуль в озеро размером $0,5 \times 2,3$ км стекают воды пяти ледников, в долине левого притока Тенисбай под ледником № 11 расположено озеро размером $0,2 \times 0,3$ км, в долине р. Куль — $0,3 \times 0,5$ км и в долине правого притока р. Шибароб под ледником № 31 — $0,1 \times 0,3$ км.

Сказанное выше об условиях стока воды из области ледников позволяет считать, что волна паводочного стока воды от ледников р. Аксу в значительной мере сглаживается в результате задержки воды в моренных отложениях, озерах и завалах. Часть талых ледниковых вод приходит в нижнее течение реки с некоторым опозданием по сравнению с нормальным временем их добегания. Об этом, в частности, можно судить, сравнивая приведенные ниже многолетние средние месячные расходы воды в процентах от среднего годового по р. Аксу и соседним с нею сходным по условиям питания рекам Ходжабакырган, Исфара, Сох и Исфайрам.

	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
Река Аксу	195	147	102	74
Соседние реки	240	127	72	55

Эти данные показывают, что осенью при ослаблении и прекращении таяния расходы воды на соседних реках сравнительно быстро уменьшаются, а по р. Аксу еще проходят расходы, составляющие 102 и 74% средних годовых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зенкова В. А. Распределение современного оледенения северных склонов Джунгарского Алатау по высотным интервалам. Сб. «Вопросы географии Казахстана», вып. 8, Изд. Казахск. гос. ун-та, 1961.
2. Ионин Н. В., Деонисьяк И. А. и Шафранов С. А. Материалы по геологии и петрографии верховьев р. Аксу. Тр. Тадж.-Пам. экспедиции 1934 г., вып. 52, 1936.
3. Ильин И. А. Водные ресурсы Ферганской долины. Гидрометеониздат, Л., 1959.
4. Корженевский Н. Л. К вопросу о морфологических типах ледников Средней Азии и возможной их классификации. Изд. Ср.-Аз. Метеорологич. ин-та, Ташкент, 1928.

ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ СРЕДНИХ РАСХОДОВ ВОДЫ ЗА ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД В РЕКАХ, СТЕКАЮЩИХ С ЮГО-ЗАПАДНОГО СКЛОНА ФЕРГАНСКОГО ХРЕБТА

Работа посвящена методам составления прогнозов на основании территориально общих зависимостей; рассматриваются также некоторые режимные характеристики речного стока, в частности изменчивость стока по территории.

В 1960 и 1961 гг. П. М. Машуковым опубликованы работы, касающиеся вопросов долгосрочного прогноза стока рек по обобщенным связям [2, 3]. Необходимость таких работ возникла в связи с тем, что в применяемых в практике гидрологических прогнозов локальных связях число лет наблюдений за стоком и осадками обычно не превышает 20—40. Такого количества используемых лет недостаточно для получения надежных связей.

В методе прогноза, разработанного Машуковым для рек, стекающих с хребтов Западного Тянь-Шаня, и бассейнов рек Сурхандарьи и Кашкадарьи, увеличение числа лет достигается путем применения обобщенных связей.

Настоящая работа выполнена по программе вышеуказанных работ применительно к рекам, стекающим с юго-западного склона Ферганского хребта. Авторами обработаны расходы 14 рек, имеющих достаточно

Статистические характе
1937—

Река	Пункт	Сокращенные обозначения	Площадь водосбора, км ²	Средняя высота водосбора, м	Средний расход воды, м ³ /сек.			Слой		
					X—III	IV—IX	X—IX	мм		
								X—III	IV—IX	X—IX
Карадарья	п. Кампыр-Рават	КД	12 400	2599	55,7	196	126	71	250	321
Кара-Кульджа	к. Акташ	КК	907	3145	6,69	36,7	21,9	118	641	759
Тар	к. Чолма	Т	3925	2855	16,1	78,2	47,0	64,0	314	378
Яссы	с. Саламалик	Я	1234	2585	5,77	40,9	23,3	74	524	598
Кугартсай	к. Джергитал	КС	970	2100	6,89	31,5	19,2	112	512	624
Чангет	к. Чангет	Ч	384	1690	1,54	3,16	2,35	63,0	130	193
Караунгур	к. Чарвак	КУ	1160	2440	12,8	50,1	31,5	173	684	857
Шайдан	к. Шайдан	Ш	125	2002	0,91	2,37	1,66	114	300	414
Майлису	п. Бобский	М	529	1950	4,00	13,8	8,88	119	411	530
Кульдук	к. Сары-Булак	К	168	2060	1,01	3,82	2,44	95	362	457
Зергер	к. Тассай	З	254	1916	1,27	4,43	2,85	78	275	353
Акбура	к. Тулекен	А	2530	3088	11,0	33,1	21,9	69	207	276
Куршаб	с. Гульча	КШ	2064	3065	9,03	25,9	17,5	68	199	267
Донгузтау	к. Донгузтау	Д	195	2016	1,14	4,42	2,78	91	357	448

длинные ряды параллельных наблюдений за стоком (с 1937 по 1960 г.); 12 из них — основные реки юго-западного склона Ферганского хребта и две — территориально близко расположенные реки восточной части северного склона Алайского хребта (Куршаб и Акбура). Это дало возможность для более контрастного сравнения стока в смысле его согласованности и надежного выявления групп рек. Статистические характеристики режима рассматриваемых рек приведены в табл. 1.

Для удобства исследования ежегодные средние расходы воды за вегетационный (апрель—сентябрь), невегетационный (октябрь—март) и годовой (октябрь—сентябрь) периоды были нормированы, при этом для облегчения подсчетов отклонения от нормы делились не на средние квадратические, как это принято, а на средние абсолютные отклонения. Возможность такой замены была показана П. М. Машуковым [2].

Нормированные ежегодные расходы выражались в процентах и записывались в виде

$$q_{i,j} = 100 \frac{Q_{i,j} - Q_{0,j}}{\theta_j},$$

где $Q_{i,j}$ — средний расход воды в м³/сек за сезон i -того года, $Q_{0,j}$ — многолетний средний расход в м³/сек, θ_j — среднее абсолютное отклонение от нормы в м³/сек, j — номер реки.

Представив расходы воды рассматриваемой группы рек в нормированном виде, мы тем самым уравнили их нормы, приведя средние многолетние расходы воды к нулю, а средние абсолютные отклонения к единице.

Зависимость стока и коэффициента вариации стока рассматриваемой группы рек от средней высоты водосбора, внутригодовое распределение

Таблица 1

ристки режима рек
1960 гг.

стока		Среднее абсолютное отклонение θ						$\beta_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (q_{i,j} - q_{0,j})$			Средние коэффициенты корреляции $100 r'$			Дата центра половогозья D_6	
		м ³ /сек.			‰ от нормы										
		X—III	IV—IX	X—III	IV—IX	X—IX	X—III	IV—IX	X—IX	X—III					
22	78	7,27	44,1	24,5	13	22	20	50	34	35	71	83	82	14	VI
16	84	1,01	8,05	4,14	15	22	19	52	38	36	68	83	82	22	VI
17	83	2,49	14,4	8,02	16	18	33	43	53	52	75	72	73	23	VI
12	88	1,19	11,5	6,15	21	28	26	31	23	25	79	87	87	3	VI
18	82	1,28	9,22	5,14	19	29	27	62	28	29	66	84	85	27	V
33	67	0,38	1,29	0,80	25	41	31	44	28	32	73	86	75	14	V
20	80	2,37	13,0	7,28	18	26	23	54	47	44	69	70	79	31	V
28	72	0,18	0,54	0,35	20	23	21	65	66	60	64	65	72	31	V
22	78	0,69	3,95	2,25	17	29	25	61	38	36	67	82	80	31	V
21	79	0,23	1,27	0,70	23	33	29	55	38	39	68	83	82	27	V
22	78	0,25	1,47	0,82	20	33	29	62	24	22	64	87	87	15	V
25	75	1,03	4,49	2,79	9	14	13	52	79	72	69	56	63	3	VII
26	74	1,42	4,57	2,66	16	18	15	62	57	54	62	71	72	23	VI
20	80	0,22	1,37	0,78	19	31	28	46	23	25	74	87	87	21	V

стока и т. п. в настоящей статье не рассматривается, так как выводы оказались аналогичными тем, которые получены для большинства районов Средней Азии другими авторами.

Согласованность в годичных колебаниях стока определялась прежде всего путем вычисления коэффициентов корреляции между расходами воды в реках, объединенных попарно. Вычисление производилось по приближенной формуле, предложенной Машуковым [2].

$$r_{x,y} \approx r'_{x,y} = 1 - \frac{1}{2} \theta_{(x-y)},$$

где $\theta_{x,y}$ — среднее абсолютное отклонение разности нормированных расходов x и y . Возможность такой замены доказана и проверена Машуковым на примере рек бассейнов Кашкадарьи, Сурхандарьи и рек, стекающих с хребтов Западного Тянь-Шаня [2, 3]. Преимущество предложенной приближенной формулы состоит в большой экономии труда при вычислении.

Сводки коэффициентов корреляции составлены для годового, вегетационного и невегетационного периодов. Анализ полученных коэффициентов корреляции показал (см. табл. 1), что лучше всего согласуется между собой сток отдельных рек за годовой (средний коэффициент корреляции 0,79) и вегетационный периоды (0,78) и наименее равномерно по территории распределяется сток за невегетационный период (средний коэффициент корреляции 0,62) и что степень связанности расходов рассматриваемой группы рек между собой различна. Так, например, связь годового стока рек Донгузтау, Яссы и Зергер с годовым стоком других рек наиболее тесная: средний коэффициент корреляции 0,87 и наибольший 0,98. Для р. Акбуры характерны наиболее низкие коэффициенты корреляции: в среднем 0,63, а с отдельными реками — порядка 0,43—0,48. Довольно низкие коэффициенты корреляции получены также для рек Куршаб, Шайдан и Тар. Связь расхода соседней р. Куршаб с расходом Акбуры довольно тесная (коэффициент корреляции 0,88).

Низкая степень связи стока рек Акбуры, Куршаба и Тара со стоком других рек указывает на то, что эти реки, особенно Акбура, по режиму стока занимают особое положение среди рек рассматриваемого района.

Совокупностью коэффициентов корреляции можно характеризовать изменчивость стока по территории (от реки к реке) только за многолетний период. Анализ вариации стока по территории в отдельные годы был произведен с помощью вычисления предложенного Машуковым [2] коэффициента территориальной неравномерности стока, который представляет собой среднее абсолютное отклонение нормированного стока в данном i -том году от среднего нормированного стока всех рассматриваемых рек за этот же год, т. е. если принять за j номер реки при общем числе рек n , то указанный коэффициент вычисляется по формуле

$$\alpha_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |q_{i,j} - q_{i,0}|.$$

Просуммировав отклонения $\Delta q = q_{i,j} - q_{i,0}$ теперь уже по рекам и разделив полученные суммы на число лет N , получаем величины

$$\beta_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |q_{i,j} - q_{i,0}|,$$

которые характеризуют, так сказать, типичность данной реки в рассматриваемом районе. Их значение примерно противоположно коэффициентам корреляции. Чем меньше β , тем ближе по режиму стока данная река

к некоторой абстрактной «средней реке» района. Заметим, что расход средней реки определяется как средний из нормированных расходов всех рек.

Таблица 1 показывает, что наиболее близка к средней реке р. Зергер ($\beta=0,22$), за ней следуют реки Яссы и Донгузтау (0,25) и наиболее плохо согласуется со средней рекой р. Акбура (0,72). Отдаляются от средней реки Куршаб, Чангет и Тар. Таким образом, выводы, полученные относительно согласованности стока в многолетнем разрезе с помощью вычисления коэффициента β , схожи с выводами, полученными методом корреляции. Зависимость между величинами β_j и r_j для всех рассматриваемых периодов (годового, вегетационного и невегетационного) получилась обратной и очень тесной: средние отклонения точек от линии связи составили для вегетационного периода 4,4% от среднего β , для годового 3,3% и для невегетационного периода 4,9%.

Таблица 2

Сток «средней реки» $q_{l,0}$ и коэффициент ежегодной территориальной вариации α_l

Год l	X—III		IV—IX		X—IX	
	$q_{l,0}$	α_l	$q_{l,0}$	α_l	$q_{l,0}$	α_l
1936-37	-50	33	-33	35	-41	34
1937-38	-107	57	-151	24	-150	31
1938-39	-158	47	-180	17	-187	18
1939-40	-205	23	-147	42	-148	43
1940-41	-35	78	-52	24	-39	36
1941-42	-43	49	41	28	31	33
1942-43	-45	37	-12	31	-18	29
1943-44	-9	49	-77	40	-53	60
1944-45	9	60	58	71	49	71
1945-46	32	58	3	37	6	38
1946-47	-23	50	-172	34	-169	28
1947-48	-79	54	-13	36	-20	38
1948-49	-74	52	111	77	85	67
1949-50	-2	38	-102	28	-90	33
1950-51	-95	37	-42	28	-58	27
1951-52	219	113	210	56	217	68
1952-53	110	50	96	55	99	53
1953-54	285	76	150	44	187	33
1954-55	190	73	41	40	67	45
1955-56	41	65	11	28	20	27
1956-57	-54	39	-108	24	-111	27
1957-58	-26	54	170	34	147	30
1958-59	78	40	58	38	58	35
1959-60	43	34	134	114	121	102
Среднее	0	53	0	41	0	42
θ	84		91		90	

Коэффициенты территориальной неравномерности α_l (табл. 2) для годового и вегетационного периодов оказались близкими. Анализ этих коэффициентов по отдельным годам показал, что наиболее равномерно распределяется по территории сток за 1939 г. ($\alpha=0,18$) и наименее равномерно за 1945 г. ($\alpha=0,71$).

Коэффициент α от величины расхода воды не зависит, т. е. сток одинаково равномерно (неравномерно) распределяется по территории в маловодные, многоводные и средние по водоносности годы. Однако случаи наибольшей изменчивости стока по территории отмечены в самые многоводные годы.

Для бассейнов рек Сурхандарьи, Кашкадарьи и рек, стекающих с хребтов Западного Тянь-Шаня, рассмотренных Машуковым [2, 3], такая связь отсутствовала, т. е. распределение стока по территории не зависело от водоносности года.

При наличии метода прогноза стока средней реки и отсутствии методов для детализации этого прогноза по отдельным рекам коэффициент территориальной неравномерности может дать представление о точности прогноза в каждом отдельном году. Например, в 1937 г. средняя (по 14 рекам) абсолютная ошибка прогноза стока на вегетационный период (см. табл. 2) составила бы 0,35 (35%) при условии, что территориальный прогноз оправдался абсолютно точно.

По применявшейся до 1963 г. в системе ГУГМС оценке прогноз считается оправдавшимся, если его ошибка не превышает 20% многолетней амплитуды предсказываемой величины. Многолетняя амплитуда для вегетационного периода получилась равной 460%, или 4,6 в абсолютном измерении, значит, в 1937 г. средняя ошибка по 14 рекам составила бы 8% многолетней амплитуды, что существенно меньше допустимой, равной 92% (0,2 от 460%). За рассматриваемый 24-летний период среднее абсолютное отклонение нормированного стока от средней реки за вегетационный период только в 1960 г. превысило допустимое значение (было 1,14). Однако отдельные отклонения от средней реки достигали для вегетационного периода 2,67 (р. Тар, 1945 г.). Всего по 14 рекам за 24 года (336 случаев) для вегетационного периода было отмечено 36 случаев таких неоправдавшихся «прогнозов», что составило 11% общего числа случаев. Сказанное выше справедливо только в том случае, если прогноз стока средней реки дается абсолютно точно.

Таблица 3

Многолетние данные об осадках
1937—1960 гг.

Метеорологические станции	Сокращенные обозначения	Высота над уровнем моря. м	Количество осадков (норма)					Среднее абсолютное отклонение θ				$\beta_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_{ij} - w_{0j} $ (12 станций)	
			мм			% от годового количества		мм		% от нормы			
			X—III	IV—IX	X—IX	X—III	IV—IX	X—III	IV—IX	X—III	IV—IX		
Наманган	Н	449	120	50	170	71	29	37	18	31	36	59	59
Донгузтау	ДТ	1272	479	378	863	56	44	101	109	21	29	29	32
Тассай	Т	1255	494	387	881	56	44	106	89	21	23	58	62
Ош	О	887	236	133	369	64	36	60	36	25	27	33	43
Ак-Терек	АТ	1748	546	435	981	56	44	103	109	19	25	33	42
Воздвиженская	В	1023	414	253	667	62	38	84	65	20	26	37	50
Гульча	Г	1561	218	256	475	46	54	66	60	30	23	66	69
Саламалик	С	1291	471	421	884	53	47	120	120	25	28	27	33
Джержитал	Д	1205	426	280	706	60	40	82	84	19	30	28	30
Кампыр-Рават	К	812	315	157	472	67	33	70	52	22	33	38	40
Андижан	А	496	190	68	261	73	27	53	26	28	38	40	47
Сары-Таш	СТ	3207	131	209	341	40	60	37	40	28	19	54	80
Минимальное			120	50	170	40	27	37	18	19	19	27	30
Максимальное			546	435	981	73	60	120	120	31	38	66	80
Среднее			337	252	585	59	41	77	67	24	28		

Наибольшее число неудачных прогнозов пришлось бы на реки Акбуру, Куршаб, Тар и Шайдан, а по рекам Кара-Кульджа, Яссы, Зергер и Донгузтау неоправдавшихся прогнозов не было бы совсем.

Для составления обобщенных прогностических зависимостей стока за вегетационный период от осадков авторами был произведен подробный анализ осадков. Осадки рассматривались по 12 горным и предгорным метеорологическим станциям за 24-летний период наблюдений (табл. 3). Анализ осадков позволил сделать следующие основные выводы.

Многолетнее среднее количество осадков по станциям меняется в значительных пределах: от 170 мм в Намангане до 981 мм на станции Ак-Терек.

Годовое количество осадков и его среднее абсолютное отклонение возрастают с высотой местности. Исключение составляют станции Сары-Таш и Гульча, которые не укладываются на общую линию связи.

Распределение осадков между холодным и теплым полугодием различно. На станциях Андижан и Наманган за теплое полугодие выпадает 27 и 29% годового количества осадков, а на станциях Сары-Таш и Гульча — 60 и 54%, т. е. с возрастанием высоты местности увеличивается доля осадков теплого полугодия, что вообще характерно для Средней Азии.

Таблица 4

Количество осадков на средней станции $w_{L,0}$ и коэффициенты территориальной вариации α_i (по 12 станциям)

Год	α_i %		$w_{L,0}$ мм		Год	α_i %		$w_{L,0}$ мм	
	X—III	IV—IX	X—III	IV—IX		X—III	IV—IX	X—III	IV—IX
1936-37	42	71	-159	87	1948-49	26	64	59	155
1937-38	50	37	-58	-188	1949-50	63	27	-124	-84
1938-39	27	35	-117	-115	1950-51	24	57	-61	-12
1939-40	30	59	-113	14	1951-52	43	48	156	170
1940-41	37	33	25	-101	1952-53	22	66	16	21
1941-42	50	34	80	12	1953-54	46	55	297	156
1942-43	55	23	121	-101	1954-55	64	37	-57	-30
1943-44	45	42	-52	-74	1955-56	20	50	56	-74
1944-45	78	46	135	-18	1956-57	25	78	-86	-2
1945-46	46	56	-2	-78	1957-58	48	52	-8	256
1946-47	23	51	-155	-37	1958-59	47	42	81	-84
1947-48	37	50	-41	26	1959-60	56	69	54	102
Среднее						42	49	2	0
Максимальное						78	78	297	256
Минимальное						20	23	-159	-188

Средний для 12 станций коэффициент территориальной неравномерности осадков α (табл. 4) для вегетационного периода равен 49%, для невегетационного — 42%, т. е. неравномерность в распределении осадков в теплый период года оказалась несколько больше, чем в холодный. Для невегетационного периода α_i от количества осадков не зависит, а для вегетационного прямая зависимость хотя и намечается, но она очень слабая.

Наиболее равномерное распределение осадков в холодное полугодие отмечалось в 1955-56 г. ($\alpha=20\%$), а наименее равномерное — в 1944-45 г. ($\alpha=78\%$).

Значения коэффициентов β_j , характеризующих степень согласованности показаний станции с показаниями других выбранных станций

в многолетнем разрезе, приведены в табл. 3. Из этой таблицы видно, что наиболее близкими к средней станции являются станции Саламалик, Джергитал, Донгузтау, Ак-Терек. Эти станции в последующем и были приняты в качестве прогностических.

Сток вегетационного периода зависит главным образом от количества осадков, накопившихся в бассейне реки к началу таяния.

Для установления связей стока с осадками за период октябрь — март осадки осреднялись по нескольким группам станций, что позволило выявить группу станций, дающую наиболее высокую тесноту связи со стоком.

Осреднение осадков и расходов воды по отдельным группам производилось исходя из принципа согласованности их показаний, выявленной путем вышеизложенного анализа. В первую группу вошли все 12 станций; во вторую — 10 (исключены метеостанции Сары-Таш и Гульча); в третью — 7 (без Сары-Таша, Гульчи, Намангана, Андижана и Тассая); в четвертую группу вошли наиболее репрезентативные станции, такие, как Саламалик, Джергитал, Воздвиженская, Ак-Терек, Донгузтау; в других группах брались осадки по двум и одной станции. Всего было образовано девять групп.

Таблица 5

Коэффициенты корреляции и обеспеченности связей нормированных средних расходов за вегетационный период q с нормированным количеством осадков w за октябрь — март

	Коэффициент корреляции (увеличен в 100 раз)									Обеспеченность p %								
	12 ст.	10 ст.	7 ст.	5 ст.	СТ-Г	В-Д	С	Д	ДГ	12 ст.	10 ст.	7 ст.	5 ст.	СТ-Г	В-Д	С	Д	ДГ
14 рек	79	76	78	80	80	78	84	75	75	79	79	75	75	75	67	79	79	75
12 рек	79	77	78	80	77	78	86	76	78	75	71	75	87	75	75	83	71	71
10 рек	78	76	78	80	75	78	85	75	76	67	63	71	75	75	71	79	67	67
9 рек	80	78	79	81	77	79	86	76	79	71	67	75	83	75	79	83	75	67
А—КШ	52	46	48	49	67	38	55	43	46	54	50	50	50	75	46	58	50	50
КД	76	71	72	72	78	66	80	66	75	83	75	71	71	76	54	75	71	79
КК	78	77	78	80	74	74	86	76	82	71	71	79	79	79	71	83	71	75
Т	56	49	52	53	72	43	63	45	60	58	58	54	46	71	42	54	50	58
Я	76	74	76	78	74	75	85	75	77	79	71	75	79	67	50	75	63	67
КС	74	72	75	77	72	75	81	71	70	67	67	67	71	63	63	67	63	54
Ч	79	76	78	80	82	78	85	76	76	75	75	79	79	83	67	83	71	61
КУ	76	72	74	76	66	76	79	74	64	58	58	58	75	63	58	67	54	58
Ш	49	46	47	50	44	52	52	46	35	50	42	54	54	54	58	50	54	46
М	72	72	74	77	69	77	79	75	66	63	63	63	71	67	71	75	71	58
К	70	67	68	70	64	67	80	68	67	71	63	63	75	58	63	67	58	67
З	80	79	80	82	76	80	87	78	79	71	75	79	83	79	79	83	83	71
А	42	35	38	34	60	28	42	32	40	50	46	50	54	67	42	50	46	50
КШ	52	48	50	52	68	42	47	47	48	46	46	50	46	67	46	54	46	46
Д	78	78	79	80	74	72	86	76	81	75	71	75	79	79	71	83	71	71

Реки были сгруппированы следующим образом: 1) все 14 рек, 2) 12 рек (без Акбуры и Куршаба), 3) 10 рек (без Акбуры, Куршаба, Тара и Кара-Дарьи), 4) 9 рек (исключили Акбуру, Куршаб, Тар, Чангет и Шайдан), 5) реки Акбура и Куршаб и каждая река отдельно.

Коэффициенты корреляции между стоком и осадками приведены в табл. 5, которая показывает, что самые высокие коэффициенты корреляции стока по группам рек с осадками были получены по группе из пяти

станций (0,80—0,81) и по станции Саламалик (0,81—0,86). Использование для прогноза одной станции ненадежно, поэтому следует отдавать предпочтение группе из пяти станций, куда вошли наиболее репрезентативные станции рассматриваемого района (Саламалик, Джергитал, Воздвиженская, Ак-Терек и Донгузтау). Коэффициенты корреляции осадков со стоком отдельных рек получились ниже, чем по группам рек (в основном значительно ниже 0,8—0,7).

Недостаточно высокие коэффициенты корреляции стока с осадками за период октябрь—март объясняются тем, что не учитываются осадки периода апрель—сентябрь (особенно за апрель и май), которые оказывают большое влияние на формирование стока в вегетационный период.

Теснота связей была оценена также в процентах от многолетней амплитуды. Многолетняя амплитуда нормированных расходов вегетационного периода, как указывалось выше, для четырнадцати рассматриваемых рек в среднем составила 460%, а допустимая ошибка — 92%. Эта величина и принята для всех рек.

Величины коэффициентов корреляции и обеспеченностей проверочных прогнозов представлены в табл. 5. Связь между последними прямолинейная, но недостаточно тесная. В целях экономии труда для приближенной оценки тесноты связей можно пользоваться величиной обеспеченности.

Коэффициенты корреляции стока (см. табл. 5) с количеством осадков, осредненным по 12, 10 и 7 станциям, в общем близки между собой. То же самое относится и к обеспеченностям. Коэффициенты корреляции уменьшаются в зависимости от средней высоты водосбора, но связь слабая. Теснота связей увеличивается с уменьшением средней высоты водосбора (рис. 1). Наиболее тесные связи расходов с осадками получены для групп рек с наиболее низкими водосборами (Зергер, Чангет, Донгузтау, Кугарт, Майлису). Последнее может быть объяснено, во-первых, тем, что выбранные метеорологические станции имеют небольшую высоту и поэтому низкие водосборы они характеризуют лучше, чем высокие, во-вторых, тем, что с высотой местности увеличиваются осадки теплого периода, влияние которых значительно уменьшает тесноту связи, так как они не входят в состав аргументов связей.

Для отдельных рек в большинстве случаев связи получались неудовлетворительные, и прогнозы по ним составлять нельзя. Очень низкие коэффициенты корреляции для рек Акбуры, Куршаба, Шайдана и Тара.

Самая высокая обеспеченность связи (87%) получилась для осадков с октября по март по пяти станциям со средним вегетационным расходом по 12 рекам (все реки, кроме Акбуры и Куршаба, т. е. реки юго-западного склона Ферганского хребта). Эта связь (рис. 2) выражается форму-

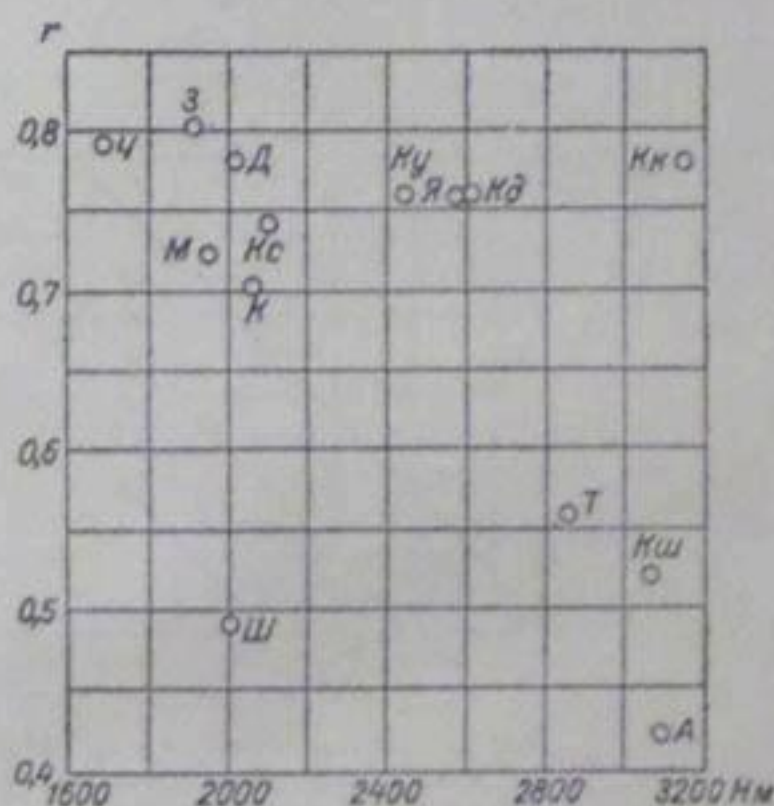


Рис. 1. Зависимость коэффициента корреляции (r) от средней высоты водосбора (H). (Буквы у точек обозначают сокращенное название рек согласно табл. 1.)

лой $\bar{q} = w$, согласно которой по всем 12 рекам должна предсказываться одинаковая степень водоносности, равная среднему баллу количества осадков по 5 станциям.

Метод составления фонового прогноза, разработанный в работе [2] и применяемый авторами, состоит в определении баллов q и w , т. е. нормированных значений стока и количества осадков в ‰.

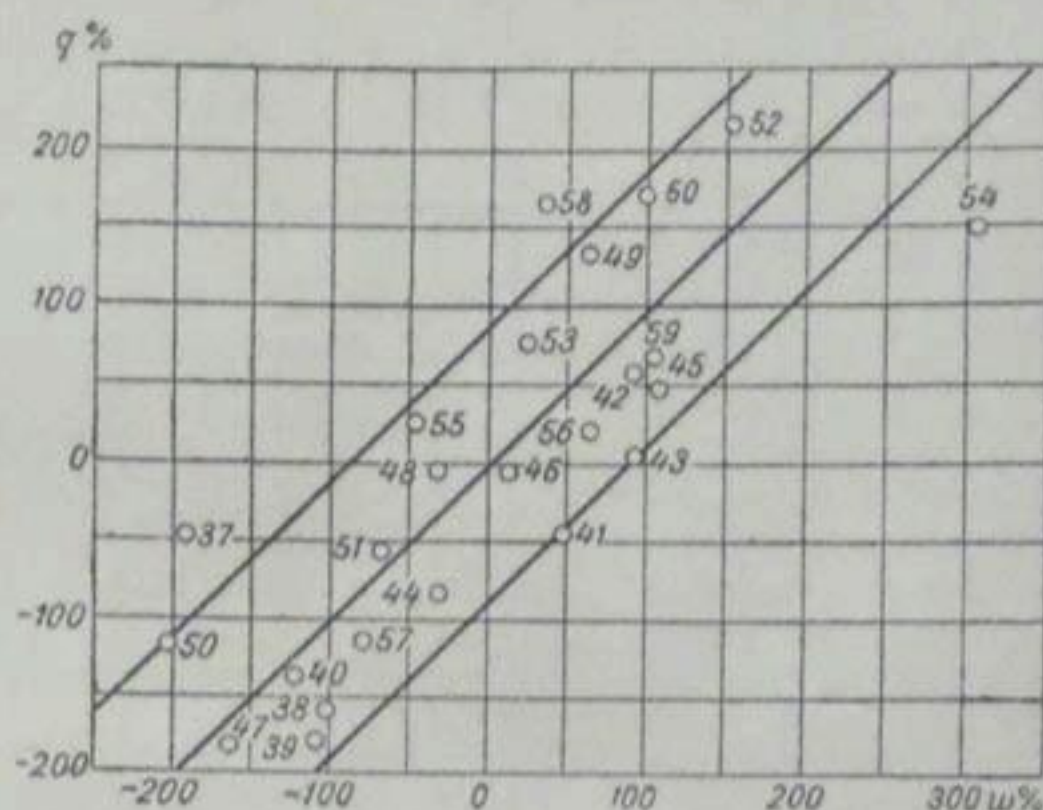


Рис. 2. Зависимость между средним нормированным стоком за вегетационный период по 12 рекам (q) и средним нормированным количеством осадков по пяти станциям (w) за октябрь—март.

Нормированный расход каждой реки вычисляется по формуле

$$q_{i,j} = 100 \frac{Q_{i,j} - \bar{Q}_{0,j}}{\bar{Q}_j}; \quad (1)$$

отсюда средний балл расхода по всем 12 рекам

$$q_{i,0} = \frac{100}{12\bar{Q}_1} Q_{i,1} + \frac{100}{12\bar{Q}_2} Q_{i,2} + \dots - \frac{100}{12} \sum \frac{\bar{Q}_j}{\bar{Q}_j}. \quad (2)$$

Аналогично определяется средний балл осадков. Рабочая формула для определения среднего балла осадков за период октябрь — март имеет вид

$$w_{i,0} = 0,198 \text{ ДТ} + 0,194 \text{ АТ} + 0,238 \text{ В} + 0,167 \text{ С} + 0,244 \text{ Д} - 482, \quad (3)$$

где ДТ, АТ, В, С и Д — количества осадков по станциям соответствующих названий.

Переход от балла к расходу ($\text{м}^3/\text{сек}$) каждой рассматриваемой реки производится по формулам:

$$\begin{aligned} \text{КД} &= 196 + 0,441w, & \text{КУ} &= 50,1 + 0,130w, \\ \text{КК} &= 36,7 + 0,08w, & \text{Ш} &= 2,36 + 0,005w, \\ \text{Т} &= 78,2 + 0,144w, & \text{М} &= 13,8 + 0,040w, \\ \text{Я} &= 40,9 + 0,115w, & \text{К} &= 3,82 + 0,013w, \\ \text{КС} &= 31,5 + 0,092w, & \text{З} &= 4,43 + 0,015w, \\ \text{Ч} &= 3,16 + 0,019w, & \text{Д} &= 4,42 + 0,014w, \end{aligned} \quad (4)$$

где свободные члены представляют собой многолетние средние расходы воды в м³/сек., а коэффициенты при балле осадков равны средним абсолютным отклонениям, деленным на 100.

Формула для среднего балла стока по 12 рекам в процентах строится аналогично формуле (3) и имеет вид

$$q = 0,189KD + 1,04KK + 0,579T + 0,725Я + 0,902КС + 6,46Ч + \\ + 0,641КУ + 15,4Ш + 2,11М + 6,56К + 5,673 + 6,08ДТ - 374. \quad (5)$$

Оправдываемость проверочных прогнозов по данным на конец марта по каждой реке представлена в табл. 5, из которой видно, что средняя оправдываемость проверочных прогнозов по данным об осадках на конец марта для 12 рек получилась равной 72% при природной обеспеченности 42%. Такая обеспеченность метода не позволяет выпускать полноценные прогнозы. Метод можно использовать лишь для составления консультаций о предстоящей водоносности рек рассматриваемого района.

Небольшое увеличение обеспеченности (до 76%) можно получить за счет исключения из рассмотрения некоторых рек, а именно Тара и Шайдана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильин И. А. Водные ресурсы Ферганской долины. Гидрометеониздат, Л., 1959.
2. Машуков П. М. Анализ и прогноз стока рек бассейнов Сурхандарьи и Кашкадарьи за вегетационный период. Труды САНИГМИ, вып. 3(18), 1960.
3. Машуков П. М., Тикунова В. В. Анализ и прогноз сезонного стока рек, стекающих с хребтов Западного Тянь-Шаня. Труды САНИГМИ, вып. 7(22), 1961.
4. Машуков П. М., Мурза Л. М. Центр половодья горных рек Средней Азии. Труды САНИГМИ, вып. 7(22), 1961.

УЧЕТ РАЗБОРА ВОДЫ НА ОРОШЕНИЕ ИЗ р. СЫР-ДАРЬИ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ

Описаны расчеты, с помощью которых были получены однородные ряды наблюдений над стоком р. Сыр-Дарьи, и многолетние средние месячные значения безвозвратных потерь стока, вызванных увеличением изъятия воды на орошение в Ферганской долине с 1940 г.

Воды р. Сыр-Дарьи, ее составляющих и притоков в пределах Ферганской долины с давних пор используются для орошения (табл. 1).

В связи с этим в течение многих лет в Гидрометслужбе составляются прогнозы водоносности р. Сыр-Дарьи на вегетационный период и отдельные месяцы этого периода. До 1940 г. разбор воды из главной реки и ее составляющих выше станции Запорожской, по створу которой давались прогнозы, из года в год изменялся незначительно, и никаких особых затруднений при составлении прогнозов не возникало. Положение сильно изменилось с 1940 г., когда забор воды на орошение в Ферганской долине начал увеличиваться благодаря вводу в действие ряда больших каналов, из которых только в два канала, Большой Ферганский (БФК) и Северный Ферганский (СФК), построенные в 1939 г., из Нарына стало забираться до 300 м³/сек.

Институтом «Средазгипроводхлопок» произведены подсчеты среднего за вегетационный период расхода воды, забираемого на орошение из рек Карадарьи, Нарына и Сыр-Дарьи в пределах Ферганской долины по пятилетиям (табл. 2).

Как показывают данные, забор воды в оросительные каналы за последние двадцать лет увеличился почти вдвое, это вызвало значительное изменение в режиме жидкого стока р. Сыр-Дарьи. Так, если раньше на Сыр-Дарье, как и на многих других горных реках Средней Азии, наблюдалось одно весенне-летнее половодье, то в последние примерно двадцать лет здесь появился еще второй, осенний паводок, вызванный стоком в русло Сыр-Дарьи возвратных вод. Начиная примерно с 1940 г. сток воды в Сыр-Дарье за время половодья уменьшился, а в меженный период увеличился.

Режим стока воды р. Сыр-Дарьи усложняется еще тем обстоятельством, что вода, забираемая из рек в оросительные каналы, теряется безвозвратно, т. е. испаряется с орошенных полей, только частично, осталь-

Таблица 1

№ п/п	Название пункта	Расстояние от Беговата, км	Площадь водосбора, км ²	Средний расход за IV—IX, м ³ /сек.	Годы
р. Сыр-Дарья					
1	Гидрометстанция Запорожская (Беговат)	0	142 000	721	1910—47
2	Плотина Фархадского водохранилища	3			
3	Голова канала Дальверзин	3		30	1940—62
4	Гидрометстанция Кызыл-Кишлак	47	136 000	864	1948—56
5	Плотина Кайрак-Кумского водохранилища	70			
6	Гидрометстанция Ак-Джар	187		698	1954—62
7	Гидрометстанция Сарай (Казь)	279		667	1932—61
8	Голова канала им. Ахунбабаева	317		19,4	1940—62
9	Место слияния Нарына и Карадарьи	324			
р. Нарын					
10	Голова Северного Ферганского канала (СФК)	362		63	1940—62
11	Голова канала, подпитывающего БФК	362		57	1959—62
12	Гидрометстанция Уч-Курган	366	58 400	610	1910—18; 1925—61
13	Голова Большого Ферганского канала (БФК)	372		78	1940—62
р. Карадарья					
14	Голова Большого Ферганского канала	384		89	1940—62
15	Сброс Большого Ферганского канала в Карадарью	389		57	1941—62
16	Голова канала Пахта-Абад	424		10,0	1940—62
17	Голова канала Андижан	478		21,2	1940—62
18	Голова канала Савай	478		13,7	1940—62
19	Голова канала Шаарихан	478		69	1940—62
20	Гидрометстанция Кампыр-Рават	479	12 400	190	1914—17; 1923—61

Таблица 2

Годы	1931—34	1935—39	1940—44	1945—49	1950—54	1955—59	1960
Q м ³ /сек.	223	239	360	336	344	417	485

ная же часть воды из каналов и с полей орошения с некоторым опозданием возвращается в русло Сыр-Дарьи в виде так называемых сбросных и возвратных вод, искажая этим естественный режим стока реки.

Работа службы гидрологических прогнозов и информации в последние годы осложнилась и тем, что в русле Сыр-Дарьи стали строиться водохранилища, из-за этого в качестве опорных речных гидрометстанций приходилось выбирать новые, расположенные выше по течению. Так, до 1947 г. наблюдения за жидким стоком производились по станции Запорожской, но в 1945 г. построили плотину Фархадского водохранилища.

и с 1948 г. значительная часть воды реки по деривационному каналу была направлена в обход гидрометстанции Запорожской. Из-за этого опорную станцию пришлось открыть в Кызыл-Кишлаке (табл. 1). Но и эта станция с июня 1956 г. перестала играть роль опорной, так как выше нее в этом году было построено Кайрак-Кумское водохранилище. Наблюдения за стоком воды были перенесены в створ гидрометстанции Ак-Джар, выше нового водохранилища.

В связи с увеличением разбора воды на орошение и созданием водохранилищ сезонного регулирования надобность в гидрологических прогнозах по р. Сыр-Дарье еще более увеличилась, но составление прогнозов стока по этим же причинам, а также из-за переноса наблюдательных станций стало сложнее. Дело в том, что для разработки достаточно обоснованной методики гидрологических прогнозов необходимо иметь по створу станции возможно более длинный ряд наблюдений. В данном случае сведения о средних месячных расходах воды в р. Сыр-Дарье по станции Запорожской имеются с 1910 г. Однако этот ряд наблюдений с 1940 г. прерывается, так как данные о расходах воды после 1940 г. оказываются несравнимыми с данными до этого года, да и станция Запорожская с 1945 г. оказалась в нижнем бьефе водохранилища. В связи с этим автором предпринята попытка сделать ряды наблюдений над стоком на станциях Запорожской и Кызыл-Кишлак за весь период наблюдений, т. е. начиная с 1910 г., сравнимыми.

Прибавляя к ежегодным средним месячным расходам воды в р. Сыр-Дарье за 1948—1960 гг. на станции Запорожской (Беговат) расходы в головах каналов им. Кирова, Дальверзин и Баяут, автор получил величины, близкие к расходам на станции Кызыл-Кишлак, т. е. на участке между этими станциями нет ни приточности, ни потерь воды, кроме забора в указанные каналы. Это обстоятельство дало основание считать наблюдения на станции Кызыл-Кишлак с 1948 г. продолжением наблюдений на станции Запорожской, тем самым переходом от Запорожской к Кызыл-Кишлаку учитываются изменения, вносимые в режим Сыр-Дарьи увеличением забора воды на орошение ниже Кызыл-Кишлака. Теперь осталось учесть изменения забора воды в каналы выше Кызыл-Кишлака. С этой целью выполнено следующее:

1. Средние месячные расходы воды по станции Уч-Курган на Нарыне исправлены путем прибавления к ним средних месячных расходов воды, забираемой Большим Ферганским каналом в 6 км выше этой станции.

2. Наблюденные средние месячные расходы воды в Сыр-Дарье по станции Сарай (Каль) исправлены прибавлением к ним суммы расходов воды, забираемой из Нарына, Карадарьи и Сыр-Дарьи выше этой станции восемью наиболее крупными каналами за соответствующие месяцы.

3. Проведено сопоставление соответственных наблюденных средних месячных расходов воды в р. Сыр-Дарье по станциям Сарай и Кызыл-Кишлак¹, из которого выяснилось, что на участке между этими станциями до 1940 г. происходило как увеличение расходов воды, так и уменьшение их, а с 1940 г. во все месяцы наблюдается только увеличение расходов, т. е. боковая приточность, свидетельствующая об увеличении по сравнению с прежним поступления в русло Сыр-Дарьи сбросных и возвратных вод. Этот вывод подтверждается работами ряда авторов [1, 2, 3, 4, 5]. В частности, вывод об увеличении после 1940 г. поступления

¹ В дальнейшем станции Кызыл-Кишлак и Запорожская отождествляются.

в русло Сыр-Дарьи возвратных и сбросных вод в 1962 г. был получен институтом «Средазгипроводхлопок», рассматривавшим водный баланс русла Сыр-Дарьи на участке от станции Уч-Курган на Нарыне и Кампыр-Рават на Карадарье до станции Кзыл-Кишлак на Сыр-Дарье.

4. Для более детального изучения вопроса о безвозвратных потерях воды на орошение и величине возвратных вод, поступающих в русло Сыр-Дарьи, автором построен ряд графиков связи суммы средних месячных расходов воды рек Нарына и Карадарьи с соответствующими наблюдаемыми расходами р. Сыр-Дарьи по станции Кзыл-Кишлак. Такие гра-

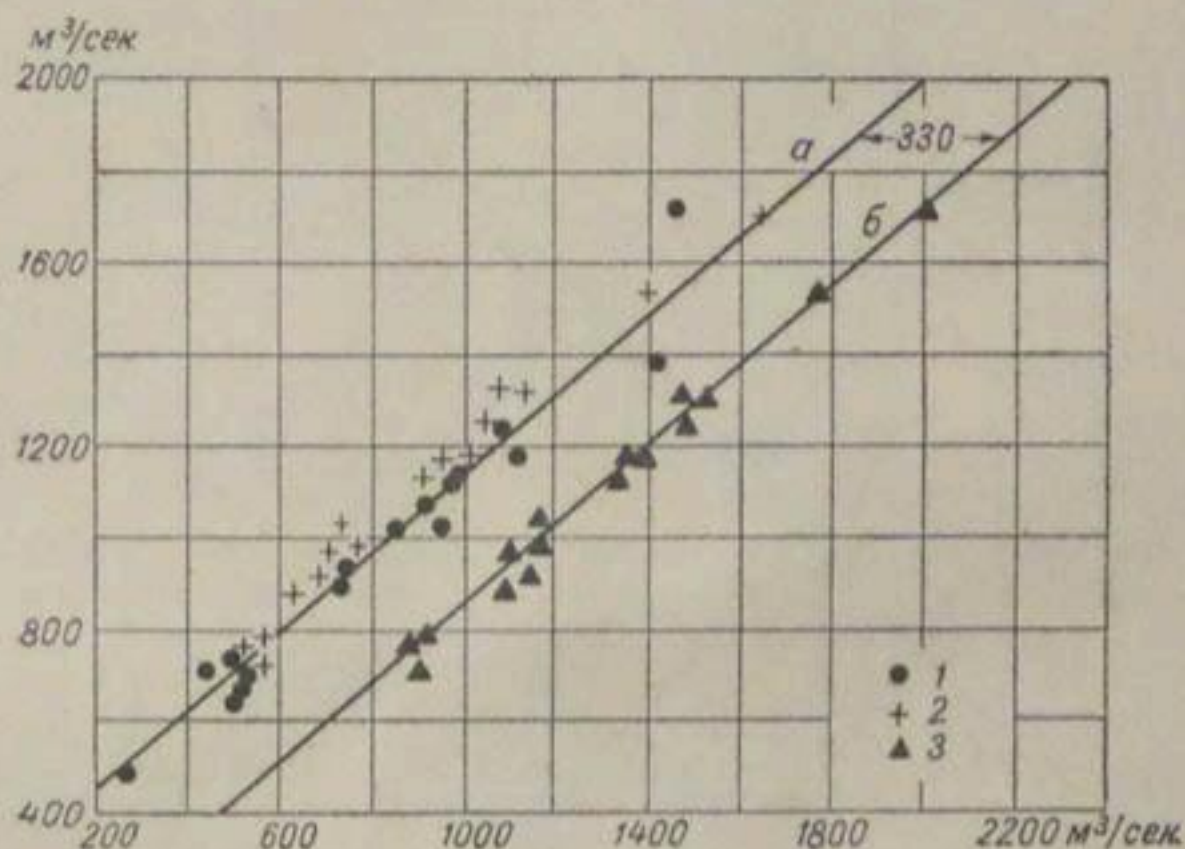


Рис. 1. Связь между средними расходами воды р. Сыр-Дарьи у Кзыл-Кишлака и суммой расходов воды рек Нарына и Карадарьи за июль.

1 — 1910–1939 гг., фактические; 2 — 1940–1955 гг., фактические; 3 — 1940–1955 гг., исправленные на забор воды в каналы.

фики были построены для всех месяцев вегетационного периода. В качестве примера на рис. 1 показан график для июля. При этом оказалось, что за все месяцы с мая по сентябрь включительно на графиках точки последних лет (после 1940 г.) расположились левее точек ранних лет (до 1940 г.). Это указывает на то, что расходы воды в р. Сыр-Дарье у станции Кзыл-Кишлак относительно уменьшились за счет изъятия воды в оросительные каналы. Однако эта величина меньше суммы расходов воды, действительно забираемой в каналы, т. е. часть воды, изъятая из реки, снова возвращается в нее.

Исключением является график для апреля, на котором точки за все годы, т. е. до и после 1940 г., расположились около одной общей прямой, указывая на то, что в апреле режим стока в р. Сыр-Дарье после 1940 г. не изменился.

Наблюдаемые средние месячные расходы в р. Сыр-Дарье по станции Кзыл-Кишлак исправлены прибавлением к ним соответствующих сумм расходов воды, забираемой из Нарына, Карадарьи и Сыр-Дарьи выше этой станции девятью наиболее крупными каналами. Затем построены связи этих исправленных расходов по станции Кзыл-Кишлак с суммами расходов рек Нарына и Карадарьи за соответствующие месяцы

(рис. 1 б). При этом оказалось, что точки этой довольно тесной связи расположились около одной прямой (рис. 1, прямая б) и правее точек, относящихся к периоду до 1940 г. (рис. 1, прямая а).

Анализ этих графиков показывает, что для того чтобы ряд наблюдений до 1940 г. стал однородным с рядом наблюдений после 1940 г., необходимо прямую б параллельно самой себе перенести влево, до совпадения с прямой а, или, иначе говоря, исправленные расходы воды по станции Кзыл-Кишлак за 1940—1956 гг. следует уменьшить на постоянную

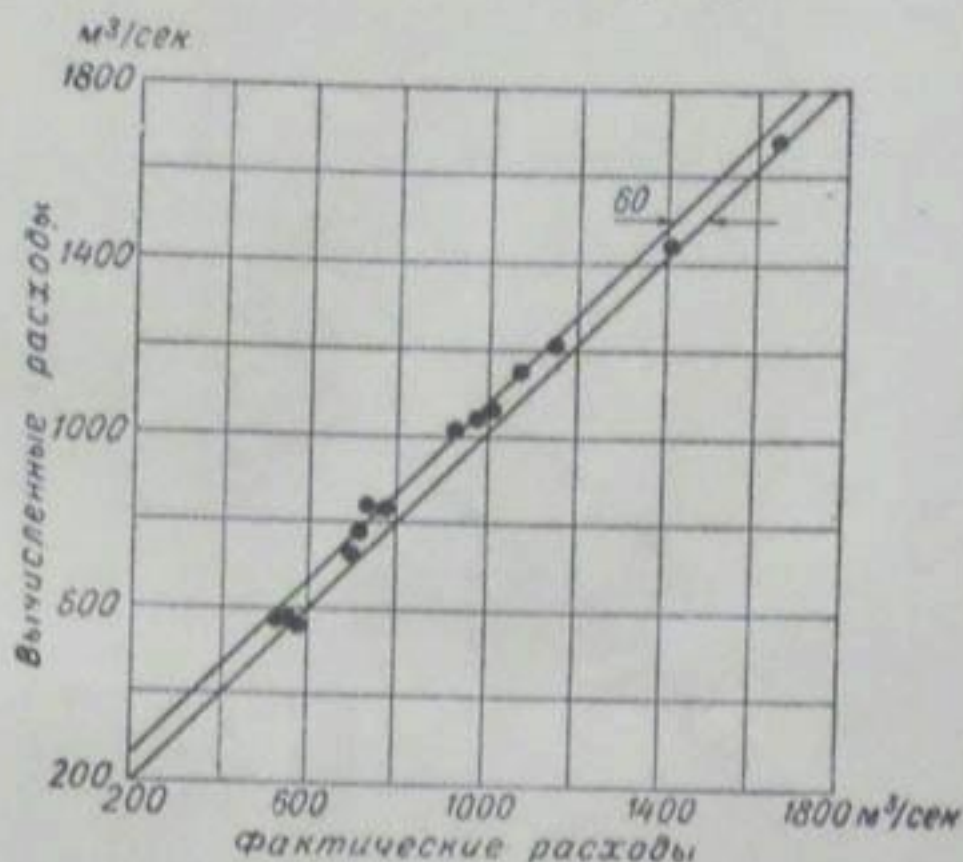


Рис. 2. Связь фактических и вычисленных расходов воды р. Сыр-Дарьи у Кзыл-Кишлака за июль.

для каждого месяца величину, равную сдвигу влево кривой б относительно кривой а. Для июля эта величина получилась равной 330 м³/сек., для мая — 290, для июня — 310, августа — 280 и сентября — 175 м³/сек.

Таким образом, автором вычислены средние месячные расходы воды за май 1940 г.—июнь 1956 г. по станции Кзыл-Кишлак, ряд которых теперь сравним с рядом таких же расходов по станции Запорожской до 1940 г.

Для установления величины действительных, т. е. безвозвратных потерь воды, изъятой на орошение, построены графики связи вычисленных, как указано выше, средних месячных расходов воды по станции Кзыл-Кишлак с такими же фактическими расходами воды по этой же станции (рис. 2).

При этом оказалось, что все точки на графике расположились около одной прямой, параллельной линии равных расходов, но левее и выше ее. Из этих графиков, т. е. графиков типа, представленного на рис. 2, следует, что по станции Кзыл-Кишлак фактические расходы воды меньше расходов, вычисленных с учетом забора воды в каналы, и, значит, некоторая часть воды, изъятой из рек оросительными каналами, не поступила обратно в русло Сыр-Дарьи, т. е. потерялась безвозвратно. Эту часть речной воды можно считать действительными ирригационными потерями. Размер этих потерь определим, измерив по оси абсцисс (см. рис. 2) расстояние между линией связи и линией равных расходов. Ре-

зультаты такого определения величины безвозвратных потерь показаны в табл. 3.

Таблица 3

Многолетние средние месячные значения безвозвратных потерь воды на орошение р. Сыр-Дарьи 1940—1956 гг.

	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV—IX
Выше станции Кзыл-Кишлак	0	30	40	60	70	50	42
Выше станции Ак-Джар	50	90	140	140	160	130	118

Таким образом, пользуясь данными табл. 3, по прогностическим графикам, действовавшим до 1940 г. и дополненным точками за последующие годы, можно составлять прогнозы водоносности р. Сыр-Дарьи у станции Кзыл-Кишлак. При этом ожидаемые по графикам связи расходы воды должны быть уменьшены на величину безвозвратных потерь для каждого месяца.

В 1956 г. вступило в действие Кайрак-Кумское водохранилище; станция Кзыл-Кишлак, расположенная ниже плотины водохранилища, перестала играть роль опорной. Опорной стала станция Ак-Джар, расположенная выше водохранилища. Однородный с 1910 г. ряд средних месячных расходов воды для этой станции был получен тем же путем, что и для станции Кзыл-Кишлак.

Средние месячные ирригационные потери выше станции Ак-Джар приведены во второй строке табл. 3. Теперь, чтобы получить однородные ряды наблюдений над стоком р. Сыр-Дарьи за многолетний период, нужно сделать следующее:

- а) за период, оканчивающийся апрелем 1940 г., брать наблюденные расходы по гидрометстанции Запорожской;
- б) за время с мая 1940 г. по июнь 1956 г. к расходам, наблюденным на станции Кзыл-Кишлак, а с июля 1956 г. к расходам по станции Ак-Джар прибавлять соответствующие поправки из табл. 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дунин-Барковский Л. В. О водном балансе орошаемой территории. Изв. АН СССР, сер. геогр., № 5, 1956.
2. Ильин И. А. Водные ресурсы Ферганской долины. Гидрометеиздат, Л., 1959.
3. Кузнецов В. И. Об изменениях стока р. Сыр-Дарьи в связи с развитием ирригации. Гидрология и метеорология, № 7, 1957.
4. Шульц В. Л., Орешина Л. М. Водный баланс Ферганской долины. Изв. АН УзССР, сер. технич. наук, вып. 4, 1959.
5. Шульц В. Л., Ахмедов Г. А., Орешина Л. М., Рубинова Ф. Э. К вопросу изменения стока р. Сыр-Дарьи в районе Чардаринского водохранилища в связи с развитием орошения. Изв. АН УзССР, сер. технич. наук, вып. 2, 1961.

ДОЛГОСРОЧНЫЕ ПРОГНОЗЫ СТОКА МУРГАБА И ТЕДЖЕНА

Статья посвящена вопросам формирования стока в бассейнах Мургаба и Теджена и методом долгосрочных прогнозов стока этих рек; излагаются некоторые общие вопросы методики гидрологических прогнозов, представляющие интерес для широкого круга гидрологов-прогнозистов. Много внимания уделяется устойчивости прогностических связей, дается анализ оправдываемости прогнозов, составленных за последние 20 лет.

По-видимому, нигде в Советском Союзе ирригация так не нуждается в долгосрочных прогнозах водоносности, как в бассейнах Мургаба и Теджена. Это объясняется двумя причинами: во-первых, общим недостатком воды, так как из более чем полутора миллионов гектаров земель, пригодных для орошения, водами этих рек орошается всего лишь десятая часть, во-вторых, сильными колебаниями их стока от года к году. Так, за апрель—сентябрь средний расход воды в Мургабе у Казыклы-Бента в самом маловодном 1917 г. составлял всего $18 \text{ м}^3/\text{сек.}$, тогда как в самый многоводный 1903 г. он достигал $154 \text{ м}^3/\text{сек.}$, т. е. был почти в девять раз больше. Еще более изменчив сток р. Теджен: средний расход этой реки за то же полугодие на посту Пуль-и-Хатум колебался от $0,6$ (1917 г.) до $128 \text{ м}^3/\text{сек.}$ (1957 г.).

На Мургабе и Теджене в отдельные вёсны наблюдаются мощные паводки, которые в прошлом приносили населению оазисов неисчислимые бедствия, разрушая селения, плотины водохранилищ, водозаборные сооружения и др. В таких случаях вода уходила в пустыню, образуя там малярийные болота, а поля оставались без воды, обрекая население на голод и болезни. Еще в 1939 г. мощным паводком р. Теджен был почти целиком разрушен г. Теджен и размыто полотно железной дороги. Город Мары, находящийся в долине Мургаба, в этом году уцелел, потому что паводковые воды были отведены в сторону по специальному каналу. Канал объемом около 1 млн. м^3 был вырыт на основании прогноза, которым предусматривался рекордный паводок.

Долгосрочные прогнозы паводков (максимальных расходов воды) на реках Мургаб и Теджен наряду с прогнозами водоносности представляют большой интерес для народного хозяйства Туркмении.

Долгосрочные прогнозы стока Мургаба начали составляться с 1926 г. в Ташкенте в бывшем Средне-Азиатском метеорологическом институте под руководством Л. К. Давыдова и с тех пор составляются ежегодно до настоящего времени, теперь уже в Ашхабаде в УГМС Туркменской ССР.

Прогнозы стока Теджена стали выпускаться примерно с 1939 г., т. е. значительно позднее. Так как Теджен и его притоки за границей, в Афганистане и отчасти в Иране, целиком разбирается на орошение и к нам приходят только отработанные и паводковые воды, то считалось, что по этой реке прогнозы составлять невозможно. Теперь же они составляются регулярно. Сведения о методах составления долгосрочных прогнозов

стока рек Средней Азии приведены в работах Э. М. Ольдекопа, Л. К. Давыдова, П. М. Машукова, З. В. Джорджио и др. [10, 11, 1, 2, 3, 4, 7, 8], а по истории их — из работы [5].

О методе составления прогнозов стока р. Мургаб в первые годы их выпуска можно судить по сохранившимся записям прогностических расчетов. Краткое описание метода составления прогнозов средних расходов за вегетационный период (апрель — сентябрь) и за все месяцы этого периода по р. Мургаб впервые дано Д. Я. Ручкиным в 1935 г.

По режиму и прогнозам стока Мургаба имеются работы П. М. Машукова 1937, 1941 и 1949 гг., по Теджену — М. Б. Гукасовой 1941 г. В работе В. Н. Паршина [13] новым по сравнению с работами Машукова 1937 г. и Гукасовой 1941 г. является то, что в качестве исходных данных использована водность снежного покрова по шести снегомерным пунктам в долине р. Обихингоу, пересчитанная в снегозапасы водосборов Мургаба и Теджена.

Таблица 1

Распределение (%) площадей бассейна по высотным зонам

Река	Пост	Площадь водосбора, км ²	Высотные зоны, м					
			ниже 400	400—600	600—800	800—1000	1000—1200	1200—1400
Кай-Сор	устье	5 150	0,0	10,9	38,0	22,2	9,1	5,8
Кашан	Кульджа	6 990	1,3	13,9	19,5	19,6	18,9	8,1
Кушк	Таш-Кенри	10 720	1,9	13,3	33,4	28,0	9,7	4,8
Мургаб	до Кай-Сора	21 600	0,0	1,3	2,6	3,4	7,9	9,5
"	Сени-Али	27 380	0,0	3,7	10,2	7,3	8,0	8,6
"	Тахта-Базар	34 740	0,9	7,4	13,9	9,8	10,0	8,1
"	Таш-Кенри	46 880	1,2	8,8	18,6	14,1	9,9	7,3
Теджен	Пуль-и-Хатум	70 660	1,0	12,0	13,0	11,0	8,0	8,0

Река	Пост	Высотные зоны, м							Средняя высота, м
		1400—1600	1600—1800	1800—2000	2000—2500	2500—3000	3000—3500	выше 3500	
Кай-Сор	устье	4,0	2,1	4,0	2,4	1,5	0,0	0,0	960
Кашан	Кульджа	6,7	3,2	2,8	3,9	2,1	0,0	0,0	1050
Кушк	Таш-Кенри	4,4	1,4	1,0	1,4	0,7	0,0	0,0	890
Мургаб	до Кай-Сора	9,2	8,7	10,3	22,7	20,0	4,2	0,2	1950
"	Сени-Али	8,0	7,2	9,0	18,4	16,1	3,3	0,2	1740
"	Тахта-Базар	7,4	6,0	7,3	14,5	12,3	2,4	0,1	1540
"	Таш-Кенри	6,7	4,9	5,7	11,4	9,5	1,8	0,1	1380
Теджен	Пуль-и-Хатум	8,0	7,0	6,0	5,0	12,0	8,0	0,5	1500

Недостатком всех этих работ является то, что ни одна из них не решает с достаточной точностью проблемы надежного прогноза стока за весенний период, так как оправдываемость прогнозов стока на апрель и вегетационный период не может считаться удовлетворительной. Задача состоит в том, чтобы подытожить, оценить и по возможности улучшить все сделанное по долгосрочным прогнозам стока Мургаба и Теджена.

Целесообразно различать собственно Мургаб и три его нижних при-

тока: Кайсор, Кашан и Кушк, впадающие в Мургаб на расстоянии соответственно 462, 402, 347 км от его условного устья.

Водосбор собственно Мургаба вытянут в широтном направлении и заключен между хребтами Бент-и-Туркестан на севере и востоке и Сефид Кух (Парапамиз) на юге. Правый приток Кайсор собирает воду с северных склонов хребта Бент-и-Туркестан и с возвышенности Карабиль. Реки Кашан и Кушк дренируют северные склоны Парапамизского хребта и его отрогов; на севере местность постепенно переходит в равнину. Восточная часть основных хребтов наиболее высокая, к западу вся местность в общем понижается. В топографическом отношении местность изучена довольно слабо, особенно восточная часть водосбора Мургаба, на картах которой основная река показана схематически, а притоки местами не показаны совсем.

Водосбор Мургаба в общем низок. Местность, расположенная выше 3000 м, занимает небольшую площадь и находится в самой верхней восточной части водосбора и небольшими полосками — вдоль основных хребтов. Наиболее низок водосбор р. Кушк. В табл. 1 приводится распределение площадей водосбора по высотным зонам, определенное автором. По Теджену взяты данные В. Н. Паршина [13].

Практически весь водосбор Мургаба и Теджена находится за пределами СССР, в Афганистане и Иране; в пределах Туркменской ССР в бассейны этих рек попадает безводная территория, не имеющая постоянных водотоков, кроме транзитных.

Сведения о климате водосбора Мургаба и Теджена отсутствуют. По аналогии с соседними районами, учитывая высоту местности, можно предположить, что там сухой и теплый климат; вечные снега и ледники в бассейне Мургаба существовать не могут.

Река Теджен (Герируд) берет начало со склонов горного узла на стыке хребтов Сефид-Кух и Сиях-Кух. Эти хребты вытянуты в широтном направлении и имеют отметки от 3000—3500 м на востоке до 1000—1200 м на западе. Качество учета стока воды в р. Мургаб удовлетворительное. Расходы Кашана и Кушка следует признать приближенными не только потому, что русла у них неустойчивы, но и потому, что сток в этих пересыхающих и разбираемых на орошение реках проходит в значительной мере в виде кратковременных и относительно больших по объему паводков и поэтому его трудно измерять.

Основные черты режима стока р. Мургаб и зависимость его от метеорологических факторов

Ниже автор излагает представления о характере изменения стока р. Мургаб применительно к самому верхнему, Меручакскому створу (аул Сеин-Али), являющиеся результатом тщательного анализа колебания расходов воды в реках Мургаб, Кашан и Кушк и метеорологических элементов по ряду гидрометеорологических станций.

Общую картину годового хода расходов воды в р. Мургаб по сравнению с расходами других рек за общий период наблюдения дает рис. 1. Для р. Мургаб характерно следующее:

1. Питание происходит за счет сезонных снегов и жидких осадков; ледников и сколько-нибудь значительных постоянных снежников в бассейне нет.

2. Больше половины общего стока реки приходится на грунтовые воды (рис. 1). В этом отношении с Мургабом не может конкурировать ни одна достаточно большая река Средней Азии.

Мургаб выше устья Кайсора обладает весьма большой естественной зарегулированностью стока, что придает плавные очертания гидрографу

на спаде даже в случае дождевых паводков, а паводки от снеготаяния нельзя выделить из общей волны весеннего половодья, которую они, сливаясь, образуют совместно с дождевыми паводками.

3. Для реки характерно плавное, замедляющееся со временем падение ежедневных расходов воды от начала июня до конца ноября без

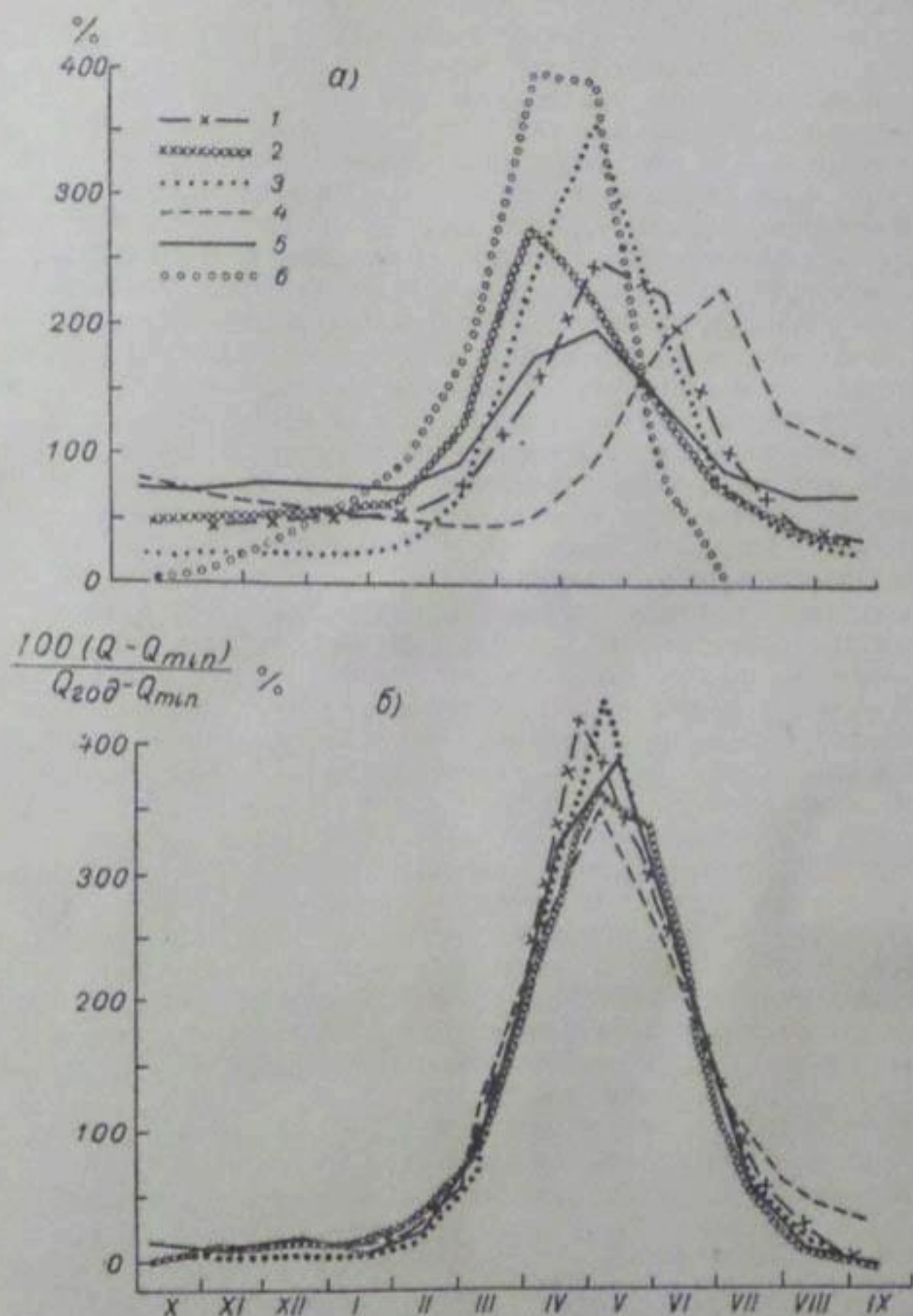


Рис. 1. Многолетнее среднее распределение стока рек по месяцам.
1 — Ширабад, 2 — Гузар, 3 — Ангрен, 4 — Исфайрамсай, 5 — Мургаб, 6 — Теджен.

сколько-нибудь значительных колебаний и «неспокойное» состояние реки в остальную часть года (декабрь — май). Только в отдельные редкие годы и в июне наблюдались дождевые паводки, из них самый большой — в 1931 г., когда прибыль воды у Меручака составила $15 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Такой характер режима реки заставляет предполагать, что климат

в главной водосборной части бассейна в отношении осадков похож на климат района г. Кушки: сухой в июне — ноябре и влажный в ноябре — мае. На это же указывает появление стока в реках Кашан и Кушк в ноябре — декабре и прекращение его в мае.

4. Благодаря указанному свойству реки составление прогнозов ежедневных расходов Мургаба в июне — ноябре не представляет труда. Краткосрочные прогнозы расхода воды в Мургабе в этот период можно составлять путем простой экстраполяции гидрографа, применяясь к гидрографу-аналогу за один из прошлых лет.

Прогнозы средних декадных и месячных расходов воды с июня по ноябрь легко составлять по графикам связи последующего среднего расхода с предыдущим средним декадным или месячным расходом воды.

5. Благодаря теплomu климату в низких частях бассейна реки снежный покров не может быть постоянным, таяние его и сток талых вод во время оттепелей наблюдаются в течение всей зимы. Накопление снега зимой должно происходить в районах, расположенных выше 2000 м. Ниже этой границы снежный покров обычно должен носить временный характер; исключения могут составлять только скопления лавинного снега в ущельях, которого там будет тем больше, чем многоснежнее была зима.

6. В связи со сказанным зимой, после холодной погоды с сильными осадками, следует ожидать увеличения расхода воды в реке при последующем потеплении. Это увеличение при отсутствии дождей не бывает значительным и зависит от температуры воздуха.

Чем дольше держится теплая погода без осадков, тем выше поднимается снеговая граница, тем меньшее влияние будет оказывать в последующем температура воздуха на ход расхода воды в реке. Наблюдая в течение зимы над осадками, например в Кушке, над ходом температуры воздуха в Кушке и Хейрабаде¹ и над колебанием расхода воды в р. Мургаб, можно примерно определить нижний предел той температуры воздуха в Хейрабаде, при котором возможно новое увеличение расхода воды в реке за счет потепления. Так, например, если зимой или ранней весной в течение нескольких дней температура держится около 5° днем при отсутствии осадков и при этом не обнаруживается сколько-нибудь заметное увеличение расхода воды в реке, то новое увеличение расхода воды при отсутствии осадков может начаться только при температуре, превышающей 5° днем. Все сказанное относится к случаям отсутствия осадков. Выпадение последних (дождя в нижней части бассейна и снега в горах) вызывает снижение снеговой границы, и повышение расхода воды может произойти и при более низкой температуре воздуха (в нашем примере ниже 5° днем).

7. Благодаря теплomu климату в декабре — феврале в основной части водосбора могут выпадать осадки в жидком виде, которые вызывают кратковременные паводки. В случае выпадения обильных дождей в Кушке и Тахта-Базаре средний суточный расход Мургаба увеличивается на величину до 20 м³/сек. В феврале дождевые паводки могут достигать больших величин. Например, в конце февраля 1929 г. после значительных осадков прошел паводок с расходом 107 м³/сек. Чем выше температура воздуха при выпадении осадков, тем большего дождевого паводка следует ожидать при прочих равных условиях, так как на большей части бассейна осадки будут выпадать в жидком виде. Наоборот, при низкой температуре воздуха дождь будет наблюдаться

¹ Хейрабад — высокогорная гидрометеорологическая станция в районе Ашхабада на высоте 2030 м, которую автор привлекает для характеристики температуры воздуха на больших высотах. Это допустимо, так как изменения температуры происходят одновременно на большой территории.

только на небольшой наиболее низкой части бассейна, выше в горах будет выпадать снег. Такие дождевые паводки образуются почти одновременно с выпадением дождя, и поэтому для предсказания их необходим прогноз погоды. Повышенный расход в этих случаях держится 2—3 дня, а затем плавно падает.

8. Несмотря на указанные колебания, расход воды в реке до середины февраля и дальше в общем устойчив и определяется грунтовым питанием, благодаря чему имеется возможность составлять довольно точные и надежные прогнозы средних месячных расходов воды для этого сезона с заблаговременностью месяц и более при помощи графиков связи последующего среднего расхода с предыдущим.

9. Отсутствие значительных колебаний расходов воды в июне — ноябре и почти полное отсутствие в этот же период осадков в Кушке, Тахта-Базаре, Герате, Мешхеде, Термезе и Керках, а также совпадение моментов прохождения пиков расходов воды на Мургабе у Меручака с моментами выпадения осадков в этих пунктах заставляют предполагать, что климат всего водосбора Мургаба в отношении осадков в основном такой же, как и в указанных пунктах, т. е. июнь — октябрь являются сухими, наиболее влажными — декабрь — апрель, а в некоторые годы — ноябрь — май. Мало того, выпадение осадков в этих пунктах сопровождается, как правило, и выпадением осадков в водосборе Мургаба (выше впадения Кайсора), нет только соответствия в количествах выпавших осадков не только за короткие периоды (несколько дней), что является обычным для многих районов, но и за длительные, например за месяц и даже год. Не следует, однако, думать, что количество осадков и распределение их во времени в среднем за многолетний период в истоках Мургаба такое же, как и в его средней части (Кушка). Прежде всего в верхней части Мургаба осадков должно выпадать больше, чем в Кушке, и влажный сезон должен быть там длиннее, что, как правило, наблюдается в Средней Азии с повышением высоты местности до известных пределов. Особенно резко это различие должно сказаться в мае. В то время как для средней части течения Мургаба (Тахта-Базарский район) в этот месяц характерны небольшие суточные количества осадков, в верхней его части возможны большие ливни и связанные с ними паводки селевого характера, что обычно и для других районов Средней Азии.

Вообще же водосборная часть Мургаба относительно бедна осадками и стоком по сравнению с другими районами Средней Азии. Причинами этого являются небольшая высота гор и общая бедность этого района осадками.

10. Основные паводки, обусловленные снеготаянием, начинаются в марте, а иногда в начале апреля (1934 г.); наибольший расход наблюдается чаще всего в апреле и в мае, но бывает и в марте, феврале и декабре (у Казыклы-Бента).

Интенсивность нарастания паводковых расходов воды зависит от запасов снега в горах, положения снеговой границы, а также от температуры воздуха и дождей. В обычных условиях паводки начинаются при устойчивой температуре воздуха в Хейрабаде 0—5° днем, но при такой температуре паводки развиваются слабо; для нормального развития паводка необходимо, чтобы температура воздуха в Хейрабаде устойчиво держалась выше 5° днем. В основном же при нормальных, а тем более при малых снежных запасах в горах интенсивность развития паводка определяется весенними дождями.

Кратковременные похолодания в апреле и мае обычно не сопровождаются уменьшением расхода воды, наоборот, зачастую в это время

происходит увеличение его, так как похолодания чаще всего сопровождаются выпадением дождей.

11. Каждому сравнительно резкому увеличению расхода воды в реке в любое время года обязательно сопутствуют осадки в указанных в п. 9 районах, во всех сразу или же только в некоторых из них, и паводок на р. Кашан, а иногда и на р. Кушк. Мало того, даже плавное, но значительное увеличение расхода воды в мае при высокой температуре воздуха, вызываемое, казалось бы, явным увеличением интенсивности таяния снега, обязательно сопровождается выпадением осадков в указанных пунктах, хотя бы и в небольшом количестве. Таким образом, и в образовании этих явно снеговых паводков участвуют дожди.

12. Благодаря короткому периоду с осадками (пять-шесть месяцев в году), сравнительно редкому выпадению значительных осадков (один-два раза в месяц) и большой естественной зарегулированности стока каждое новое выпадение значительных количеств осадков увеличивает грунтовое питание, поэтому после выпадения осадков все колебания расходов происходят на новом, повышенном основании. Особенно ярким примером этого является дождевой пик, наблюдавшийся в июне 1931 г., а также весь процесс развития половодья в 1934 г. Указанное обстоятельство наиболее заметно выражается в теплое время года.

Весна 1934 г. дает наглядный пример для уяснения роли весенних дождей в питании реки. Зима этого года была весьма бедна осадками. Сумма осадков с октября по март в Кушке составила всего 136 мм, что превышало осадки только весьма маловодных лет 1917 и 1927. Температура воздуха в феврале и марте была высокая, 19 марта нулевая изотерма поднималась до высоты 3500 м¹, и при всем этом в марте не только не наблюдалось заметного увеличения расхода воды в реке, но даже, наоборот, расход воды неуклонно уменьшался до конца марта. Все это указывало на высокое положение снеговой границы и подтверждало предположение о малых снежных запасах в горах. При такой ситуации можно было бы ожидать, что заметного весеннего паводка в этом году не будет, как это имело место в 1921, 1925 и 1927 гг. Но в апреле и мае повсеместно выпало весьма большое количество осадков (в Кушке 151 мм против 136 мм за шесть предыдущих месяцев), и половодье оказалось выше среднего.

Наращение расхода воды этой весной происходило ступенями после каждого нового выпадения дождей и закончилось большим дождевым пиком в конце мая, т. е. в необычно позднее время.

13. Уже было указано, что талые воды Мургаба проходят одним половодьем, в котором невозможно различить отдельные паводочные волны, связанные с колебанием температуры воздуха, как это наблюдается на других реках Средней Азии. Всякое резкое и значительное увеличение расхода воды, всякий вторичный паводок на основной волне весеннего половодья обязательно оказывается связанным с выпадением дождей. Но количество осадков мы вообще пока не умеем предсказывать, тем более его нельзя предсказать для горных районов, лишенных всяких гидрометеорологических наблюдений, поэтому краткосрочное предсказание таких паводков оказывается невозможным.

Соответствия между количеством осадков в Кушке и величиной прибыли воды в р. Мургаб почти нет. Например, за 12—14 мая 1931 г. расход воды увеличился на 70%, а в Кушке отмечено только 5 мм осадков.

¹ 19 марта температура воздуха в Хейрабаде днем достигала 10,4°, что при градиенте 0,7° на 100 м поднятия соответствует положению нулевой изотермы на высоте около 3500 м.

14. Описание режима реки Мургаб дано применительно к посту Меручак, расположенному выше впадения притоков Кашан и Кушк. Его можно отнести также и к Тахта-Базарскому и Таш-Кепринскому створам, расположенным первый между устьями и второй ниже устьев этих притоков, так как эти маловодные реки существенного влияния на сток Мургаба не оказывают. Но так бывает далеко не всегда. В отдельные короткие периоды (один—три дня) реки Кашан и Кушк могут существенно увеличить расход воды в Мургабе в зимнее и весеннее время. Например, в конце декабря 1924 г. на Мургабе прошел большой паводок, когда расход воды у Казыклы-Бента вырос с 50 до 125 м³/сек. Удалось установить, что этот паводок был почти целиком образован водами рек Кашан и Кушк. По данным гидрологических ежегодников, наибольшие расходы воды в 1956 г. в р. Кушк достигали 550 м³/сек., а в Кашане — 180 м³/сек. О надежности этих величин сказать что-либо трудно.

Самая верхняя станция на р. Мургаб (устье р. Кайсор) могла бы представлять большой интерес как учитывающая сток, менее всего искаженный забором воды в каналы на территории СССР. Однако наблюдения над водоносностью реки здесь ограничиваются одним уровнем воды. Расходы воды не измеряются, так как правый берег афганский. Полезны были бы наблюдения выше устья Кайсора хотя бы над уровнем воды, что позволило бы иметь хоть некоторые сведения о режиме Кайсора, стекающего с северных склонов довольно высокого хребта Бент-и-Туркестан.

Надежные сведения о заборе воды в каналы за границей отсутствуют. Теджен летом весь разбирается там на орошение, к нам приходят отработанные и паводочные воды.

Восстановление стока

В настоящее время Тахта-Базар является основной гидрологической станцией на Мургабе. По ней имеются довольно надежные гидрометрические данные с 1924 г. Чтобы удлинить ряд средних месячных расходов этой станции, сделано следующее:

1. За 1914—1918 гг. приняты расходы Меручакской станции (аул Сеин-Али) без каких-либо поправок.

2. За другие годы средние расходы за январь, февраль, март, апрель и вегетационный период у Тахта-Базара были восстановлены по очень точным графикам связи их с одноименными расходами у Казыклы-Бента.

Расходы вегетационного периода и за апрель дают слабые связи с метеорологическими и гидрологическими элементами, а поэтому для суждения об их надежности требуется иметь наиболее длинные ряды.

Расходы первого десятилетия XX в. обладают малой точностью, так как они определялись по измерениям на плотинах неточными методами, а потом с поправками на потери переносились на створ плотины Казыклы-Бент. Однако и такие неточные данные имеют большую ценность, так как связи стока Мургаба с метеорологическими элементами еще менее точны.

Связи, применяемые для прогнозов стока за июнь — февраль включительно, по своей природе настолько тесны, что фактическая теснота их зависит от точности определения связываемых величин, поэтому использование неточных восстановленных расходов для построения столь точных по своей природе связей нецелесообразно. Кроме того, для построения тесных связей большой надобности в длинных рядах и не имеется.

Указанные дополненные ряды приведены в табл. 2.

Удлиненные ряды средних за вегетационный период и некоторых средних месячных расходов воды в р. Мургаб у Тахта-Базара (Т-Б) и Казыклы-Бента (К-Б), м³/сек.

Год	IV—IX		Тахта-Базар				Год	IV—IX		Тахта-Базар			
	К-Б	Т-Б	I	II	III	IV		К-Б	Т-Б	I	II	III	IV
1899	46	(48)	(32)	(30)	(42)	(75)	1932	68	75	44	47	66	103
1900	87	(89)	(30)	(31)	(54)	(113)	1933	66	68	37	40	50	82
1901	63	(65)	(38)	(38)	(46)	(80)	1934	75	81	38	44	41	79
1902	32	(33)	(30)	(28)	(41)	(50)	1935	62	68	42	47	54	69
1903	154	(143)	(27)	(29)	(47)	(100)	1936	44	52	38	39	46	70
1904	71	(74)	(41)	(43)	(54)	(104)	1937	(49)	54	32	35	41	64
1905	59	(61)	(33)	(35)	(45)	(61)	1938	58	62	34	35	72	108
1906	70	(73)	(34)	(33)	(46)	(84)	1939	122	124	36	46	67	136
1907	90	(91)	(35)	(35)	(54)	(115)	1940	38	38	44	39	38	43
1908	74	(77)	(42)	(61)	(54)	(126)	1941	72	68	30	34	51	(118)
1911	85	(87)	(35)	(48)	(53)	(112)	1942	93	87	44	48	85	178
1912	75	(78)	(36)	(37)	(41)	(96)	1943	65	56	36	40	53	66
1913	60	(62)	(41)	(44)	(41)	(62)	1944	63	59	35	33	48	85
1914	63	(65)	(38)	(40)	(54)	(83)	1945	82	72	32	34	64	103
1915	68	61	40	40	50	95	1946	43	36	34	37	42	70
1916	58	54	31	32	39	72	1947	32	27	26	30	35	45
1917	18	18	(31)	30	31	26	1948	44	43	21	21	27	70
1918	51	(53)	(25)	(23)	(51)	45	1949	65	57	37	33	46	108
1919	—	—	—	—	—	—	1950	56	50	30	30	32	40
1920	72	(75)	(33)	(43)	(54)	(86)	1951	68	66	31	34	37	59
1921	32	(33)	(32)	(31)	(40)	(47)	1952	99	88	34	46	60	139
1922	78	(81)	(29)	(35)	(57)	(98)	1953	66	58	34	42	73	95
1923	106	(104)	(38)	(58)	(70)	(185)	1954	104	91	34	40	74	151
1924	127	121	(37)	(50)	(78)	(194)	1955	66	55	36	36	50	65
1925	38	48	49	47	53	63	1956	94	80	34	37	78	173
1926	50	50	29	35	34	50	1957	100	93	34	38	47	110
1927	31	36	30	31	31	42	1958	59	64	45	47	71	122
1928	46	50	32	33	47	82	1959	41	36	32	33	48	66
1929	49	54	30	53	74	82	1960	51	47	28	28	32	56
1930	69	70	31	33	46	102	1961		50	27	26	51	94
1931	60	62	38	39	46	69							

Примечание. Величины в скобках — восстановленные.

Средние многолетние и крайние значения стока

В табл. 3 приведены многолетние средние и крайние средние месячные расходы воды, вычисленные за все время наблюдения на каждом посту. Обращает на себя внимание большой размах колебаний расходов год от года, на что указывалось ранее.

Величины средних расходов по всем трем постам Мургаба близки, поэтому судить о притоке или потерях на участках между постами трудно без приведения расходов к одному ряду. Это было сделано методом отношений. Результаты приведения (табл. 4) показывают, что в среднем за год на участке Сеин-Али — Тахта-Базар приток равен потерям, от Тахта-Базара до Таш-Кепри наблюдается приточность, равная стоку р. Кушк.

В среднем за холодное полугодие (октябрь — март) преобладает приток на всем участке от Сеин-Али до Таш-Кепри; в апреле — сентябре от Сеин-Али до Тахта-Базара превалируют потери, ниже, до Таш-Кепри, — приток. Приточность и потери в среднем небольшие, они составляют несколько процентов (табл. 5).

Многолетние средние месячные расходы воды м³/сек.

	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X—III	IV—IX	X—IX
р. Мургаб, Сеин-Али, $F=27\,380$ км ² , январь 1929 г. — февраль 1939 г.															
Средние	37	37	37	35	39	50	79	100	79	51	39	37	39	64	52
Наибольшие	45	46	43	41	44	(73)	102	120	129	75	50	46	45	83	63
Наименьшие	32	31	31	30	30	38	63	77	58	40	32	31	33	51	48
р. Мургаб, Тахта-Базар, $F=34\,700$ км ² , октябрь 1914 г. — сентябрь 1961 г.															
Средние	35	35	36	34	37	51	87	100	70	43	34	33	38	61	50
Наибольшие	55	55	52	49	53	85	186	232	168	103	70	58	52	124	84
Наименьшие	21	21	21	21	21	31	26	21	17	13	14	18	22	18	26
р. Мургаб, Таш-Кепри, $F=46\,880$ км ² , май 1925 г. — декабрь 1939 г.															
Средние	37	37	40	39	46	60	90	106	79	49	38	36	43	66	55
Наибольшие	55	54	52	51	61	88	153	289	191	99	66	57	50	142	94
Наименьшие	27	27	31	30	36	33	42	54	38	26	24	24	34	35	35
р. Кашан, Кульджа, $F=6990$ км ² , январь 1950 г. — декабрь 1960 г.															
Средние	0,13	0,43	0,89	0,63	1,62	3,86	5,77	3,31	0,21	0,03	0,00	0,01	1,26	1,56	1,41
Наибольшие	0,54	1,53	2,98	1,52	3,24	11,7	17,6	14,2	1,62	0,38	0,01	0,15	2,73	5,66	3,61
Наименьшие	0,00	0,11	0,13	0,21	0,26	0,87	1,73	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	0,61	0,71
р. Кушк, Палач-Пая, $F=10\,600$ км ² , январь 1950 г. — сентябрь 1960 г.															
Средние	0,14	0,60	1,71	1,73	3,89	11,5	16,0	4,52	0,23	0,02	0,00	0,00	3,26	3,46	3,36
Наибольшие	1,15	4,97	10,4	5,23	11,8	27,7	63,9	19,2	0,95	0,08	0,01	0,01	6,16	14,02	10,1
Наименьшие	0,00	0,09	0,16	0,25	0,27	3,50	1,94	0,38	0,02	0,00	0,00	0,00	0,97	0,55	1,25
р. Теджен, Пуль-и-Хатум, $F=70\,600$ км ² , октябрь 1915 г. — декабрь 1961 г.															
Средние	0,6	1,5	8,6	17	29	58	12,2	119	25	1,4	0,1	0,0	18	41	31
Наибольшие	0,8	24	52	47	63	119	379	416	76	24	1,2	0,4	38	128	79
Наименьшие	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	16	2,8	0,3	0,00	0,00	0,0	0,0	4,1	0,6	4,2

Таблица 4

Многолетние средние месячные расходы воды (м³/сек.), приведенные к периоду октябрь 1914 г. — сентябрь 1961 г.

Река — пост	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X—III	IV—IX	X—IX
Мургаб — Меручак . . .	34	34	35	33	34	47	83	99	71	45	34	32	37	63	50
Мургаб — Тахта-Базар . .	35	35	36	34	37	51	87	100	70	43	34	33	38	61	50
Мургаб — Таш-Кенри . . .	35	35	39	38	43	60	96	105	71	44	33	52	40	65	53
Кашан — Кульджа . . .	0,15	0,47	0,97	0,63	1,62	3,58	3,40	3,31	0,20	0,03	0,0	0,0	1,25	1,44	1,36
Кушк — Палач-Пая . . .	0,14	0,58	1,71	1,73	3,89	10,7	14,2	3,84	0,22	0,02	0,0	0,0	3,20	3,30	3,18

Таблица 5

Многолетние средние сезонные и годовые расходы, приведенные к общему периоду с 1914 по 1961 г.

Река — пост	Расход, м³/сек.			Годовые		
	X—III	IV—IX	X—IX	модуль стока, л/сек. км²	слой стока, мм	верхний предел коэффициента стока
Мургаб — Сеин-Али	37	63	50	1,82	57	0,22
Мургаб — Тахта-Базар	38	61	50	1,44	45	0,17
Приток	1	—2	0	—	—	—
Кашан — Кульджа	1,25	1,44	1,36	0,19	6	0,02
Мургаб — Тахта-Базар	38	61	50	1,44	45	0,17
Мургаб — Таш-Кенри	40	65	53	1,13	36	0,13
Приток	2	4	3	—	—	—
Кушк — Палач-Пая (Таш-Кенри)	3,20	3,30	3,18	0,30	10	0,04
Теджен — Пуль-и-Хатум	18,2	41	31	0,44	—	0,05

Удельный сток всех рассматриваемых рек мал: для Мургаба, в расчете для створа Сеин-Али, он составляет всего 1,8 л/сек. км², что в несколько раз меньше обычно встречающегося в Средней Азии модуля стока. В этом отношении на Мургаб похожи низкогорные реки Ширабадарья и Гузардарья, имеющие примерно такие же модули стока.

Средний годовой модуль стока низкогорных рек Кашан и Кушк падает до 0,02—0,04 л/сек. км². Это реки с периодическим стоком, который появляется в них после выпадения осадков поздней осенью, зимой и весной. Пониженный по сравнению с Кушком модуль стока Кашана связан, надо полагать, с большим изъятием воды на орошение.

Река Теджен пересыхает в основном из-за изъятия воды на орошение в Афганистане и Иране. Средний годовой модуль стока этой реки в створе Пуль-и-Хатум составляет 0,44 л/сек. км².

Попытаемся определить коэффициент стока. Многолетнее среднее годовое количество осадков в Кушке составляет 266 мм, а в Тахта-Баразе 240 мм.

Несомненно, на водосборе Мургаба осадков выпадает больше, чем на этих станциях, так как количество осадков при переходе от пустыни, в условиях которой находятся указанные станции, к горам возрастает. Заведомо занижая среднее количество осадков на водосборах Мургаба, Кашана и Кушка, полагаем, что там их выпадает столько же, сколько на станции Кушка, т. е. 266 мм в год. Разделив на эту величину годовые слои стока, получим верхний предел величины коэффициента стока. Для отдельных пунктов Мургаба они составили 0,13—0,22 и для его притоков — 0,02—0,04 (см. табл. 5).

Низкие коэффициенты стока не могут не сказаться отрицательно на тесноте связи стока с количеством осадков. Действительно, чем меньше коэффициент стока, тем больше потери. Но потери в значительной степени определяются от состояния почво-грунтов, а поэтому и сток будет зависеть от этой же причины. Но чем больше будет зависеть сток от состояния почво-грунтов, тем он меньше будет связан с осадками. Отсюда следует, что нельзя ожидать для Мургаба и тем более для Теджена столь же тесных связей стока с количеством осадков, как это имеет место, например, для р. Чирчик, где коэффициент стока значительно выше.

Известна прямая зависимость слоя стока от высоты местности [14]. Рассматриваемые реки Мургаб, Теджен, Кашан и Кушк не являются исключением, так как соответствующие им точки легли на график связи слоя стока и средней высоты водосбора там, где им положено быть, они занимают самое крайнее левое и крайнее нижнее положение, соответствующее малым значениям стока и низким значениям средней высоты водосбора¹.

Судя по этому графику, реки Гузар и Ширабад были бы столь же маловодными, имея они такие же низкие водосборы, как Мургаб. Естественно предположить, что удельная водовосность рек Средней Азии при прочих равных условиях должна убывать в направлении с севера на юг. Действительно, наиболее северная река, Бородай, имея более низкий водосбор, обладает удельной водовосностью, в несколько раз большей, чем Мургаб. Но с другой стороны, такие «северные» реки, как Гава, Касан, Чаткал и другие, имеют малые значения удельного стока при сравнительно высоких водосборах. Дело в том, что все эти «прочие условия» и в первую очередь орография являются столь мощными факторами,

¹ График не приводится.

что широтная зональность в распределении стока целиком затухает, а высотная зональность представляется сильно «размытой».

Разбираемый на орошение Теджен существенно маловоднее рек, имеющих такую же среднюю высоту водосбора.

Распределение стока по месяцам года

На рис. 1 а расходы выражены в процентах от среднего годового расхода, в таком виде график дает возможность установить характер распределения стока в течение года. Для сравнения на нем показан сток ряда рек других районов Средней Азии.

Для Мургаба характерна сильная естественная зарегулированность стока, что обуславливает большой сток в межень. В этом отношении

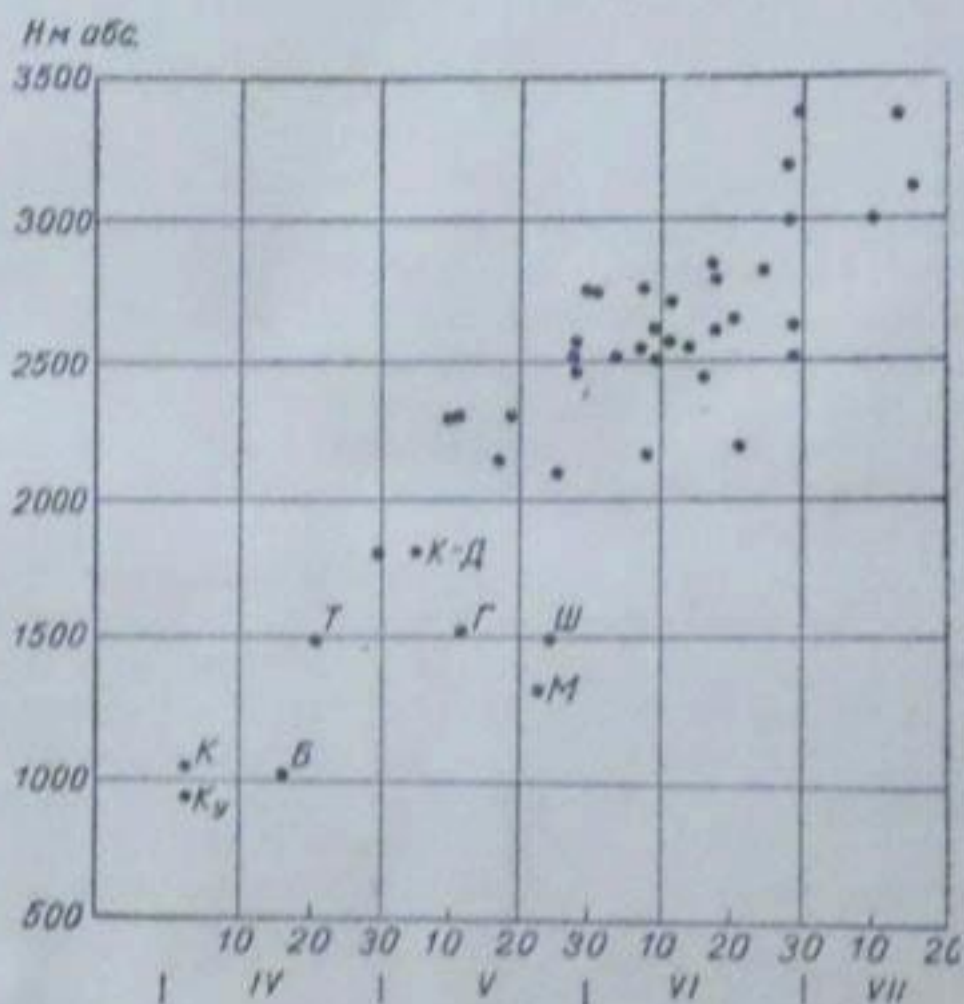


Рис. 2. Связь центра половодья со средней высотой водосбора.

с низкорным Мургабом сравнима высокогорная р. Исфайрамсай. Чтобы в этом убедиться, достаточно сдвинуть гидрограф Исфайрамсай примерно на два месяца назад, и тогда они почти совпадут. Наоборот, сток Қашана и Кушка зарегулирован слабо: почти вся атмосферная влага, поступившая в данном гидрологическом году на водосбор, очевидно, в этом же году стекает и испаряется. Этого нельзя сказать про водосбор Мургаба, где стекание осадков данного года происходит в течение многих лет. Если из многолетних средних месячных расходов вычесть их наименьшее значение и тем самым, грубо говоря, исключить зарегулированную часть стока, полученные разности выразить в процентах от их средних значений, построить по этим данным «гидрографы», которые затем сдвижкой параллельно горизонтальной оси координат совместить в некоторых точках спада, то получим рис. 1 б, на котором гидрографы разнотипных рек очень похожи. Это обстоятельство, установленное автором в 1937 г., следует учитывать при изучении распределения стока рек в течение года.

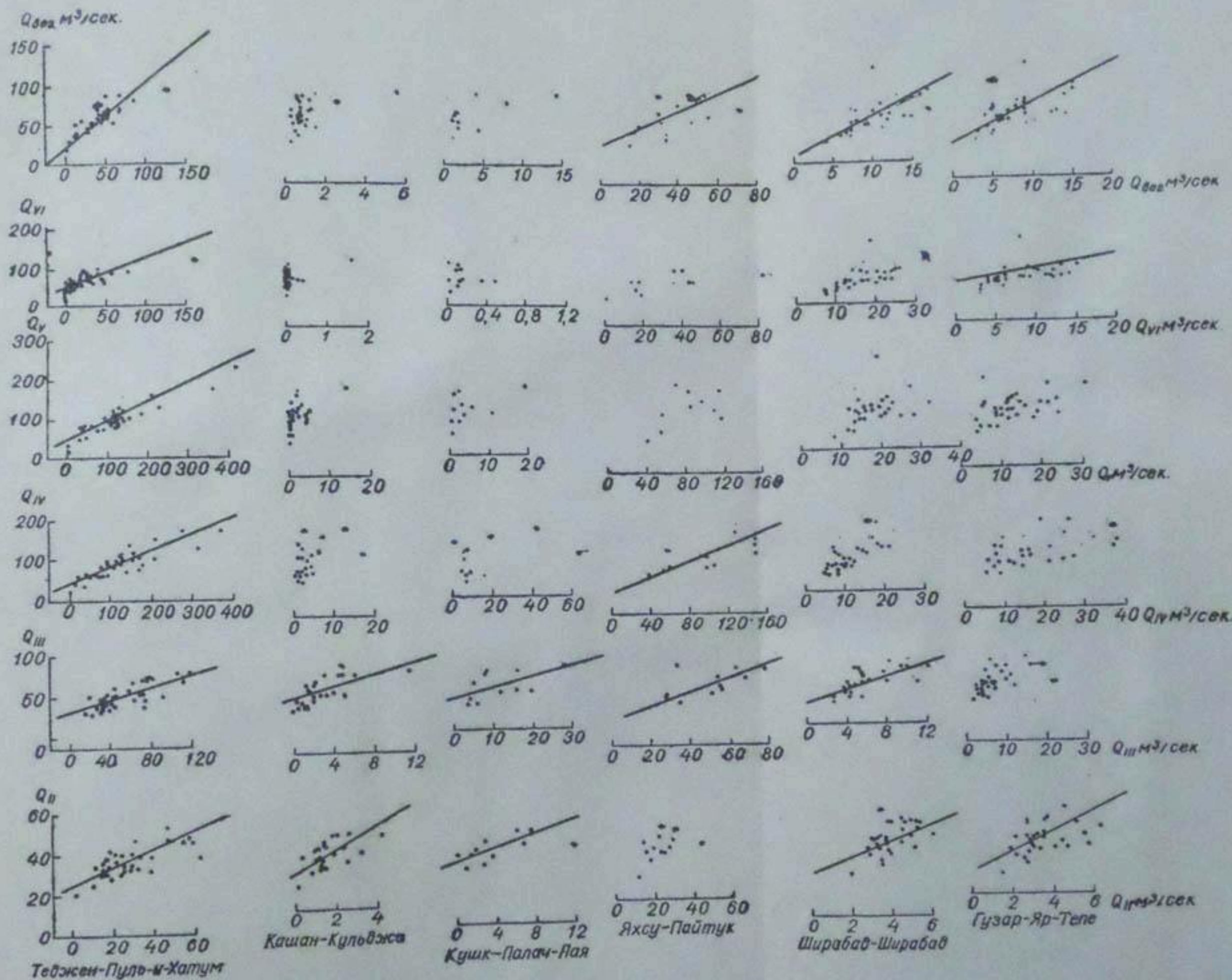


Рис. 3. Связи среднемесячных расходов Мургаба у Тахта-Базара (вертикальные оси) с одноименными расходами некоторых рек Средней Азии.

Для представления годового распределения стока одной датой можно предложить дату центра половодья [9], определяемую как центр тяжести гидрографа. Эти даты, вычисленные для многих рек в зависимости от высоты водосборов, представлены на рис. 2, заимствованном из работы [9]. На этом чертеже Мургаб (М) характеризуется слишком поздней датой центра половодья, соответствующей рекам с более высокими водосборами. В этом отношении Мургаб похож на низкогорную реку Ширабад (Ш) и отчасти на Гузар (Г). Наоборот, у Теджена (Т), Кашана (К) и Кушка (Ку) центры половодья наступают несколько раньше, чем у рек, расположенных на тех же высотах. Достаточно правильно объяснить все это пока не представляется возможным. Ссылка на большое изъятие воды на орошение недостаточна.

Связи между средними месячными расходами Мургаба и других рек Средней Азии

Исследование состояло в том, что средние месячные расходы с февраля по июль Мургаба у Тахта-Базара графически связывались с одноименными средними месячными расходами других рек.

Прежде всего рассмотрим связи расходов Мургаба с расходами его притоков Кушка и Кашана (рис. 3). Довольно тесная связь с расходом Кушка отмечена только за февраль, за март ее почти нет. Так как прошлогодняя грунтовая вода в Кушке почти отсутствует, то это значит, что: 1) колебания стока Мургаба в феврале не могут быть объяснены колебанием прошлогодних грунтовых вод самого Мургаба; 2) следовательно, они определяются погодными условиями текущей зимы; 3) влияние зимних погодных условий на расходы воды — общее для Мургаба и Кушка; 4) следовательно, если сток Мургаба зимой отражает погодные условия зимы, а зимние погодные условия в какой-то степени определяют весенне-летний сток Мургаба, то зимний сток должен в известной мере определять собой весенне-летний сток Мургаба же, а это дает основание для использования зимних расходов Мургаба (а возможно, и р. Кушка) для предсказания весенне-летнего стока Мургаба. Заметим, что сток р. Кушка непосредственно на сток Мургаба у Тахта-Базара влиять не может, так как эта река впадает в Мургаб ниже указанного поста. В марте расходы Мургаба и Кушка почти не зависят друг от друга (связь отсутствует), это говорит о разных источниках питания обеих рек. Возможно, что для Мургаба в марте начинают играть серьезную роль талые воды, тогда как сток Кушка в марте определяется дождями. То же самое можно сказать и про апрель. В мае и позже сток Кушка прерывистый, случайный и слишком мал, чтобы как-то характеризовать сток Мургаба.

Довольно тесная связь стока Мургаба со стоком ближе и выше расположенного притока Кашана наблюдается не только в феврале, но и в марте; в апреле и позже связь отсутствует. Прямо на сток Мургаба р. Кашан влиять не может, так как многолетняя амплитуда его примерно в десять раз меньше, чем у Мургаба. Выводы из этих связей в основном те же, что и по Кушку.

Связи между расходами Мургаба и Теджена тесные до мая включительно. Позже они слабее или вовсе отсутствуют из-за прекращения стока в Теджене. Тесные связи дают основание сопоставлять сток обеих рек с осадками одних и тех же станций, и такое сопоставление рационально делать только для одной реки, проводя проработку для другой реки в порядке уточнения.

Связи расходов Мургаба с расходами Атрека и Фирюзинки отсутствуют за все месяцы. Надо полагать, что они будут отсутствовать и для других рек, стекающих со склонов Копет-Дага.

Связи расхода Мургаба с расходами рек, принадлежащих к бассейнам Пянджа, Кафирнигана, Сурхандарьи и Кашкадарьи

За февраль имеются связи только с Ширабадом и Гузаром, и то слабые; для других указанных бассейнов они отсутствуют. За март связи намечаются по всем рекам, но тоже слабые. Наиболее тесные из них — по Яхсу, Ширабаду и Сурхандарье у Мангузара. В апреле и мае теснота связей остается примерно такой же, как и в марте; наиболее тесные они для Ширабада, Сурхандарьи и, пожалуй, Гузара. В июне связи еще более слабые. В июле для Кафирнигана и Ширабада связи исчезают, для Сурхандарьи и Гузара сохраняются слабые. Для всех месяцев не дают связей реки Варзоб и Обихингоу. В общем связи за все месяцы слабые, теснота их обычно уменьшается от марта к июлю, наиболее тесные связи получены с расходами рек, в водосборах которых имеются низкие площади. Играет роль не средняя высота водосбора, а доля нижней части водосбора в общем водосборе реки.

Связи с расходами рек бассейна Зеравшана (Ягноб, Искандердарья) вообще отсутствуют за все месяцы. То же самое наблюдается для рек района Чирчика (Чара-Алма, Ангрен, Чирчик, Угам) и рек Ферганской долины (Гава, Чангет, Кара-Унгур).

Таким образом, только реки юга Средней Азии имеют некоторое соответствие по стоку с Мургабом; остальные, т. е. реки бассейна Зеравшана и Сыр-Дарьи, по колебанию месячного стока год от года на Мургаб не похожи. Многоводье и маловодье на реках севера Средней Азии не влечет за собой соответствующего многоводья и маловодья на Мургабе.

Для декабря и января сток Мургаба образует связи только со стоком Теджена, со стоком других рек связи отсутствуют.

Для осенних месяцев Мургаб не дает связей ни с одной рекой. Связь стока Теджена со стоком Кашана и Кушка примерно такой же тесноты, что и со стоком Мургаба.

Оправдываемость долгосрочных прогнозов водоносности Мургаба

Прогнозы средних месячных расходов и расходы за вегетационный период впервые начали выпускаться в Ташкенте с 1926 г. Л. К. Давыдовым и его сотрудниками. Вначале прогнозы составлялись в балловой оценке по сравнению с многолетними средними и прошлогодними величинами по пятибалльной шкале. С 1928 г. выпускались как количественные прогнозы (в м³/сек.), так и качественные. Впоследствии качественные постепенно заменялись количественными. В баллах выпускались наиболее трудные прогнозы. Автором составлены сводки всех опубликованных количественных прогнозов; здесь приводится лишь таблица повторяемости их ошибок (табл. 6).

Прогнозы по р. Теджен немногочисленны, поэтому в дальнейшем, говоря о прогнозах, имеются в виду прогнозы по Мургабу, если нет указаний на прогнозы по Теджену.

Сначала прогнозы по Мургабу составлялись только для поста Казыклы-Бент, а с 1939 г. дополнительно и для поста Тахта-Базар. С 1949 г. прогнозы по Казыклы-Бенту выпускать перестали.

Повторяемость положительных и отрицательных ошибок прогнозов средних месячных расходов воды в р. Мургаб

Дата выпуска прогноза	Казыклы-Бент				Тахта-Базар				Всего						
	число случаев		сумма ошибок ‰ А		число случаев		сумма ошибок ‰ А		число случаев		сумма ошибок ‰ А		средняя ошибка ‰ А		
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	общая
Апрель															
Конец марта	1	0	15	0	8	2	93	47	9	2	108	47	12	24	14
Начало апреля	5	7	49	103	6	4	62	28	11	11	111	131	10	12	11
Всего															
абс.	6	7	64	103	14	6	155	75	20	13	219	178	11	14	12
‰	46	54	38	62	70	30	67	33	61	39	55	45			
Май															
Начало апреля	0	2	0	32	0	1	0	22	0	3	0	54	0	18	18
Конец апреля	2	0	7	0	8	6	88	83	10	6	95	83	10	14	11
Начало мая	7	4	29	27	7	4	76	36	14	8	105	63	8	8	8
Конец мая	0	0	0	0	2	0	3	0	2	0	3	0	2	0	2
Всего															
абс.	9	6	36	59	17	11	164	141	26	17	203	200	8	12	9
‰	60	40	38	62	61	39	54	46	61	39	50	50			
Июнь															
Начало апреля	0	1	0	12	0	1	0	18	0	2	0	30	0	15	15
Начало мая	0	1	0	10	1	2	5	15	1	3	5	25	5	8	8
Конец мая	3	4	8	23	7	10	26	55	10	14	34	78	3	6	5
Начало июня	7	8	16	26	4	6	8	20	11	14	24	46	2	3	3
Всего															
абс.	10	14	24	71	12	19	39	108	22	33	63	179	6	5	4
‰	42	58	25	75	39	61	27	73	40	60	26	74			

Дата выпуска прогноза	Казыклы-Бент				Тахта-Базар				Всего						
	число случаев		сумма ошибок ‰ А		число случаев		сумма ошибок ‰ А		число случаев		сумма ошибок ‰ А		средняя ошибка ‰ А		
	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	общая

Июль

Начало апреля	0	1	0	16	0	1	0	19	0	2	0	35	0	18	18
Начало мая	1	1	3	12	3	5	37	60	4	6	40	72	10	12	11
Конец мая	1	4	2	24	0	7	0	56	1	11	2	80	2	7	7
Начало июня	1	2	1	11	1	2	1	16	2	4	2	27	1	7	5
Конец июля	3	5	9	11	3	15	10	72	6	20	19	83	3	4	4
Начало июля	6	5	2	17	3	1	16	6	9	6	18	23	2	4	3
Всего															
абс.	12	18	17	91	10	31	64	229	22	49	81	320	4	7	6
‰	40	60	16	84	24	76	22	78	31	69	20	80			

Август

Начало апреля	0	1	0	18	0	1	0	20	0	2	0	20	0	10	10
Начало мая	1	2	7	42	3	5	38	104	4	7	45	49	11	7	9
Конец мая	1	2	3	21	0	4	0	37	1	6	3	27	3	5	4
Начало июня	0	2	0	17	1	2	2	21	1	4	2	21	2	5	5
Конец июня	1	5	0	16	0	3	0	19	1	8	0	24	0	3	3
Начало июля	0	5	0	24	2	1	8	7	2	6	8	30	4	5	5
Конец июля	2	1	2	2	7	9	20	35	9	10	22	12	2	1	2
Начало августа	7	5	11	14	3	0	8	0	10	5	19	19	2	4	2
Всего															
абс.	12	23	23	154	16	25	76	243	28	48	99	202	3	4	4
‰	34	66	13	87	39	61	24	76	37	63	33	67	1	1	1

Сентябрь

Начало апреля	0	1	0	18	0	0	0	0	0	1	0	18	0	18	18
Начало мая	1	2	5	43	4	3	30	82	5	5	35	125	7	25	16
Конец мая	1	1	9	11	0	5	0	53	1	6	9	64	9	11	10

Дата выпуска прогноза	Казыканы-Бент				Тахта-Базар				Всего						
	число случаев		сумма ошибок ‰ А		число случаев		сумма ошибок ‰ А		число случаев		сумма ошибок ‰ А		средняя ошибка ‰ А		
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	общая
Начало июня	0	2	0	16	1	1	5	10	1	3	5	26	5	9	8
Конец июня	1	2	5	10	1	2	2	12	2	4	7	22	4	6	5
Начало июля	1	0	0	0	0	1	0	8	1	1	0	8	0	8	4
Конец июля	1	1	5	7	1	0	0	0	2	1	5	7	2	7	4
Начало августа	4	3	22	9	1	0	8	0	5	3	30	9	6	3	5
Конец августа	1	1	2	2	10	4	36	23	11	5	38	25	3	5	4
Начало сентября	3	2	4	7	3	1	4	2	6	3	8	9	2	2	2
Конец сентября	1	0	5	0	0	0	0	0	1	0	5	0	5	0	5
Всего															
абс.	14	15	57	123	21	17	85	190	35	32	142	313	4	10	7
‰	48	52	32	68	55	45	31	69	52	48	31	69	0,6	1,4	
Октябрь															
Конец июля	1	0	12	0	0	0	0	0	1	0	12	0	12	0	12
Конец августа	0	1	0	15	0	1	0	17	0	2	0	32	0	16	16
Начало сентября	0	1	0	6	1	0	6	0	1	1	6	6	6	6	6
Конец сентября	2	1	0	3	8	3	48	15	10	4	48	18	5	4	5
Начало октября	3	3	9	12	3	2	18	9	6	5	27	21	5	4	4
Конец октября	1	0	6	0	0	0	0	0	1	0	6	0	6	0	6
Всего															
абс.	7	6	27	36	12	6	72	41	19	12	99	77	5	6	6
‰	54	46	43	57	67	33	64	36	61	39	56	44			
Ноябрь															
Конец октября	0	0	0	0	1	0	12	0	1	0	12	0	12	0	12
Декабрь															
Конец ноября	0	0	0	0	0	1	0	3	0	1	0	3	0	3	3

Выпуск прогнозов осуществлялся регулярно. Пропуски отдельных прогнозов объясняются двумя причинами: трудные прогнозы в ранние годы часто составлялись в баллах и поэтому в таблицу не вошли; неполучение исходных данных иногда влекло невыпуск прогноза. В табл. 6 прогноз на вегетационный период 1939 г. не вошел, хотя он фактически был выпущен и оказался весьма эффективным. В этом году ожидалось исключительное многоводье, при котором поля могли быть полностью обеспечены водой, и в этом смысле прогноз количества воды уже не представлял интереса. Но он был весьма интересен с точки зрения защиты сооружений от разрушительных паводков, которые ожидалась рекордными. Указания на рекордность было достаточно, чтобы удовлетворить интересы народного хозяйства Туркмении и без указания величины расхода воды в реке. Исходя из прогноза, в короткие сроки был выкопан сбросной канал объемом около 1 000 000 м³.

Хуже всех оправдались прогнозы средних расходов вегетационного периода и апреля. Рассмотрим их отдельно, начиная с первого.

Прогнозы на вегетационный период

На рис. 4 показана зависимость между наблюдаемыми и предсказанными значениями среднего расхода воды за апрель—сентябрь, март—

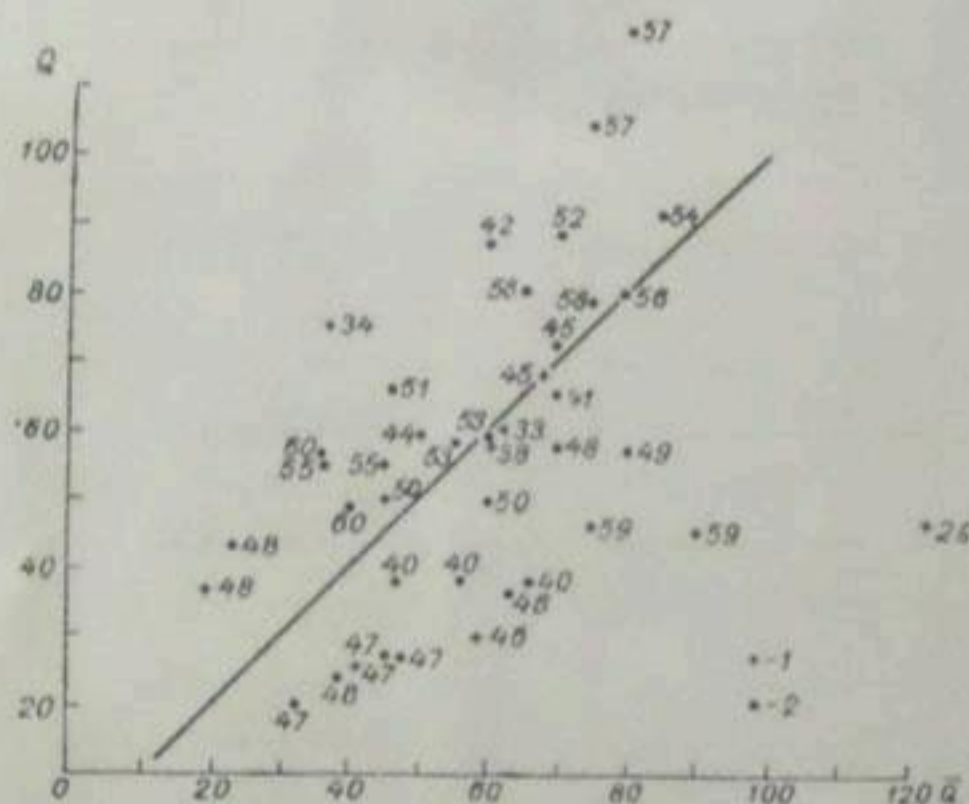


Рис. 4. Зависимость между наблюдаемыми ($\bar{Q}$) и предсказанными ($\tilde{Q}$) средними расходами воды Мургаба у Казыклы-Бента (1) и Тахта-Базара (2) за апрель—сентябрь, март—июль и апрель—июль.

июль, апрель—июль по станциям Казыклы-Бент и Тахта-Базар. Прогнозы составлялись в первых числах марта или апреля. Около точек поставлены, как обычно, годы, которые иногда повторяются по несколько раз, так как в некоторые годы один и тот же прогноз уточнялся или давался сразу по двум постам. Линия связи представляет линию равных значений y и x .

Установлено следующее:

1. Систематических ошибок в прогнозах не было, и поэтому точки на рис. 4 распределяются равномерно относительно линии связи.

2. По оправдываемости прогнозы, составленные в первых числах марта и в первых числах апреля, в общем одинаковы, т. е. апрельские уточнения не влекли за собой улучшения качества прогнозов.

3. За последний 21 год увеличение оправдываемости прогнозов не наблюдается. Это можно, например, видеть из сравнения осредненных по трем семилетиям абсолютных значений ошибок прогнозов, равных 13,7; 14,5 и 15,1 м³/сек.

4. Из 33 составленных по этому посту прогнозов оправдалось 25, т. е. 76%. Это мало при наблюдающемся неравномерном распределении вероятностей расходов и большой многолетней амплитуде. Случалось, что ожидавшийся расход превышал наблюдавшийся в два раза. Однако оправдываемость все же больше «природной обеспеченности», равной 62%, и притом существенно. Следовательно, прогнозы этих лет не были безрезультатными. По обоим постам всего было выпущено прогнозов 41, оправдалось 30, или 73%.

5. С 1957 г. прогнозы среднего расхода на вегетационный период заменены прогнозами на март—июль, апрель—июль и август—сентябрь. Первые и третьи выпускались одновременно 5 марта и вторые и третьи 5 апреля, в порядке уточнения. Выпуск прогноза на март—июль вместо прогноза на апрель—июль вряд ли целесообразен, так как замена одного периода осреднения другим затрудняет сравнение прогноза с его уточнением. Этот новый порядок, по-видимому, связан с введением в практику метода В. Н. Паршина [13]. Начало применения этого метода, как видим (табл. 7), получилось неудачным, особенно по прогнозам на август—сентябрь.

Таблица 7

Ошибки прогнозов средних расходов Мургаба
у Тахта-Базара в % от многолетних амплитуд

Период, на который выпущен прогноз	Дата выпуска прогноза	1957 г.	1958 г.	1959 г.	1960 г.
III—VII	5/III	25	3	—25	—16
IV—VII	5/IV	28	11	—33	7
	5/III	23	—25	—23	0
VIII—IX	5/IV	25	—19	—23	2

Прогнозы на апрель

Переходим к оценке прогнозов средних месячных расходов апреля. До 1952 г. они выпускались в первых числах апреля, обычно 3—5 числа, что нельзя признать нормальным, так как потребитель получал прогноз слишком поздно. С 1952 г. эти прогнозы начали выпускаться регулярно 25 марта. Прогнозы всегда составлялись ежегодно один раз, т. е. уточнения не давались.

Обращает на себя внимание очень неудачный первый количественный прогноз, составленный в 1929 г.: ожидалось 195 м³/сек., наблюдалось только 77 м³/сек. Столь же плохой прогноз был и на вегетационный период этого года. Указанное обстоятельство, очевидно, создало плохую

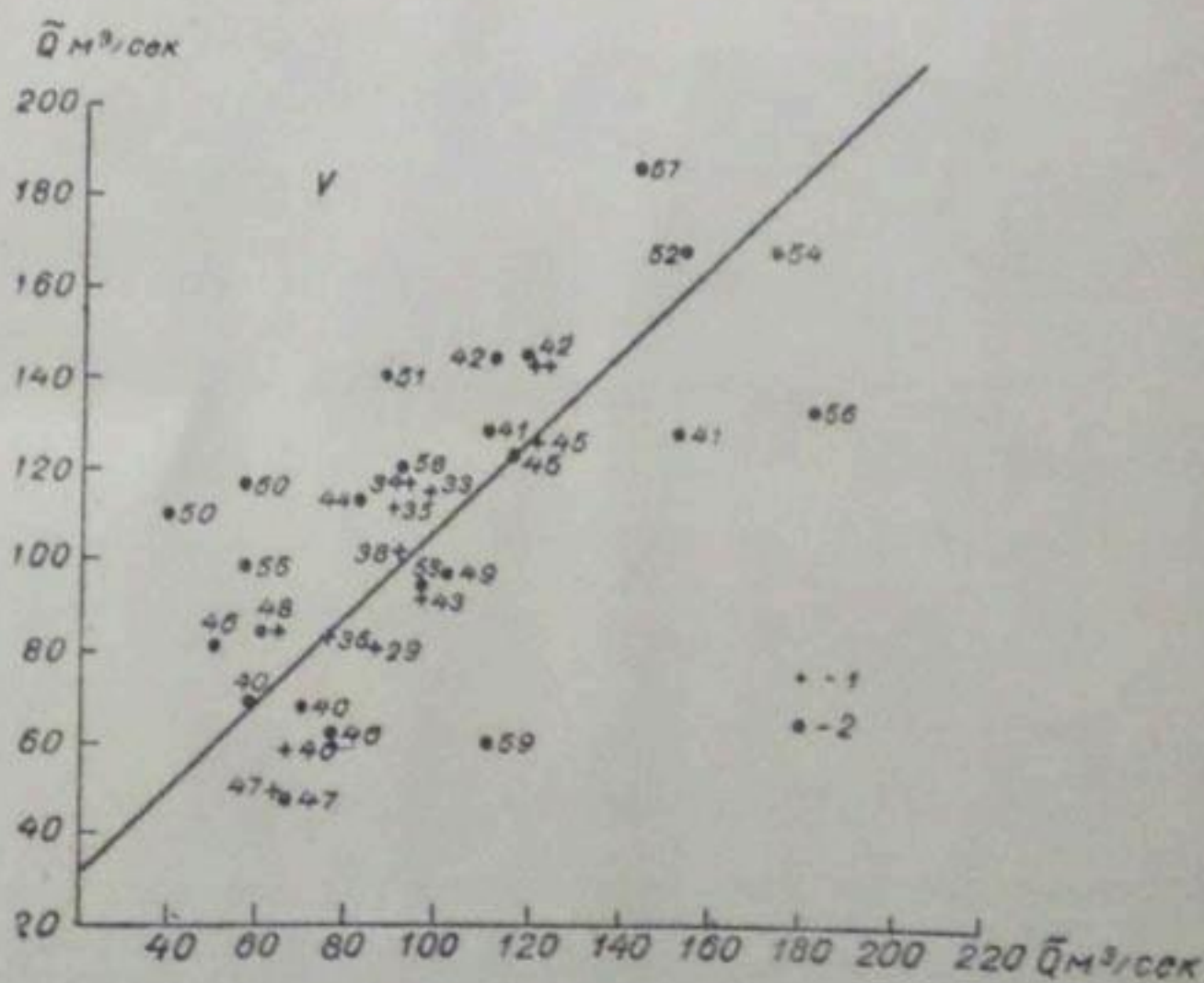
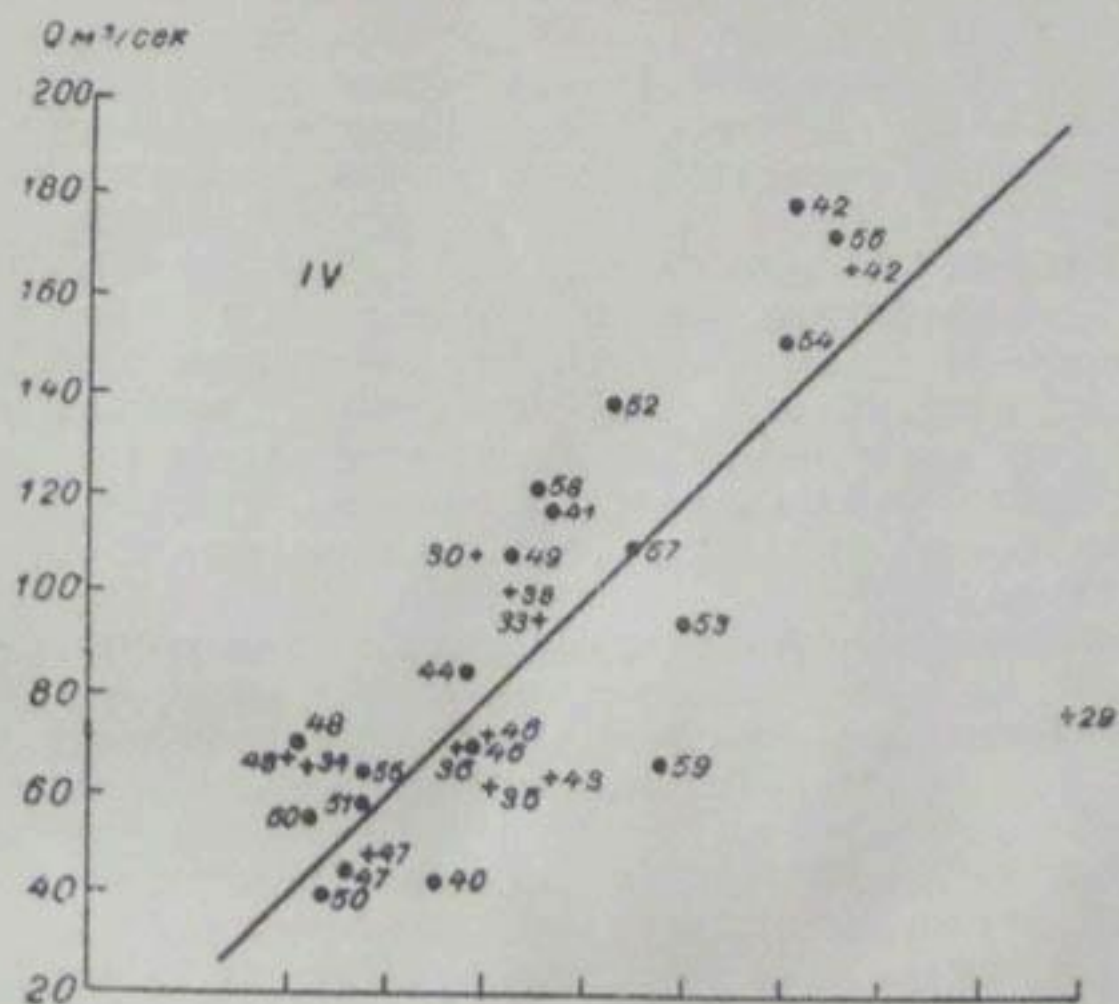


Рис. 5. Зависимость между наблюдаемыми (Q) и предсказанными ($\tilde{Q}$) расходами воды Мургаба у Казыклы-Бента (1) и Тахта-Базара (2) за апрель и май.

прогностическую репутацию. р. Мургаб и привело к нерегулярному выпуску прогнозов по этой реке.

Всего по обоим постам, Казыклы-Бент и Тахта-Базар, было выпущено 33 прогноза, из них оправдалось 29, т. е. 88%. По последнему посту выпущено 20 прогнозов, из них оправдалось 17, т. е. 85%. Как видим, прогнозы формально довольно хорошие, но неудовлетворительны для потребителей из-за большой допустимой ошибки, равной 32 м³/сек. и сравнимой с самими расходами в маловодные годы. Так, в 1950 г. средний расход за апрель составлял всего 40 м³/сек., а в 1917 г. даже 26 м³/сек.

«Природная обеспеченность» за те же 20 лет составила всего 60%, что гораздо ниже 85%, т. е. прогнозы по Тахта-Базару, выпущенные с 1940 по 1960 г., не были безрезультатными. Это же показывает рис. 5. Судя по этому графику, прогнозы на апрель оправдывались лучше, чем на вегетационный период.

Распределение ошибок прогнозов несимметрично (см. табл. 6): положительных ошибок было 20, отрицательных только 13, т. е. предсказывалось систематически меньше, чем следовало бы предсказывать. Однако по сумме ошибок контраст меньше: 55% против 45%. Причина этого неизвестна.

Тенденции к росту оправдываемости с течением времени не видно: средняя ошибка прогнозов составила за первое десятилетие рассматриваемого периода 11% и за второе 12% многолетней амплитуды.

Прогнозы на май

В первые годы прогнозы составлялись около 5 мая, с 1940 г. их стали выпускать около 25 апреля и уточнять около 5 мая, но такой порядок соблюдался не строго, часто первый прогноз отсутствовал; иногда уточнение прогноза выпускалось слишком поздно. Так, в 1946 г. уточненный прогноз на май был выпущен 20 мая, а в 1951 г. — даже 22 мая. Только с 1953 г. налажен регулярный выпуск прогнозов на май к 25 апреля.

Все уточненные прогнозы были лучше предварительных или такие же, за исключением одного.

Оправдываемость прогнозов до 1949 г. включительно была высокой: оправдалось 29 прогнозов из 30, причем единственный неоправдавшийся прогноз был составлен почти на месяц раньше обычного срока, т. е. в срок, когда составляются апрельские прогнозы, оправдывающиеся, как известно, недостаточно хорошо. С 1950 по 1960 г. оправдываемость резко падает, в эти годы не оправдалось 5 прогнозов из 13, т. е. оправдываемость составила всего 62%, что может быть объяснено, по-видимому, низкой квалификацией прогнозистов.

Общая оправдываемость по обоим постам составила 86%, по Тахта-Базару — 79%. Природная обеспеченность по Тахта-Базару за те же годы составила 72%, т. е. почти столько же. Значит, формально указанная совокупность прогнозов была почти безуспешной. Однако если сравнить отклонения от нормы и ошибки прогнозов, то результат будет в пользу прогнозов, а не отклонений от нормы. Об этом же свидетельствует рис. 5, на котором видно, что связь между наблюдаемыми и предсказанными расходами довольно тесная. Далеко отклоняются от линии связи точки последних лет и лет, в которые прогнозы составлялись значительно раньше обычного срока.

Допустимая ошибка, как и для апрельских расходов, велика (42 м³/сек.); она больше расходов, наблюдаемых в маловодные годы. Так, средний расход мая в 1947 г. был 39 м³/сек., в 1917 г. — 21 м³/сек.

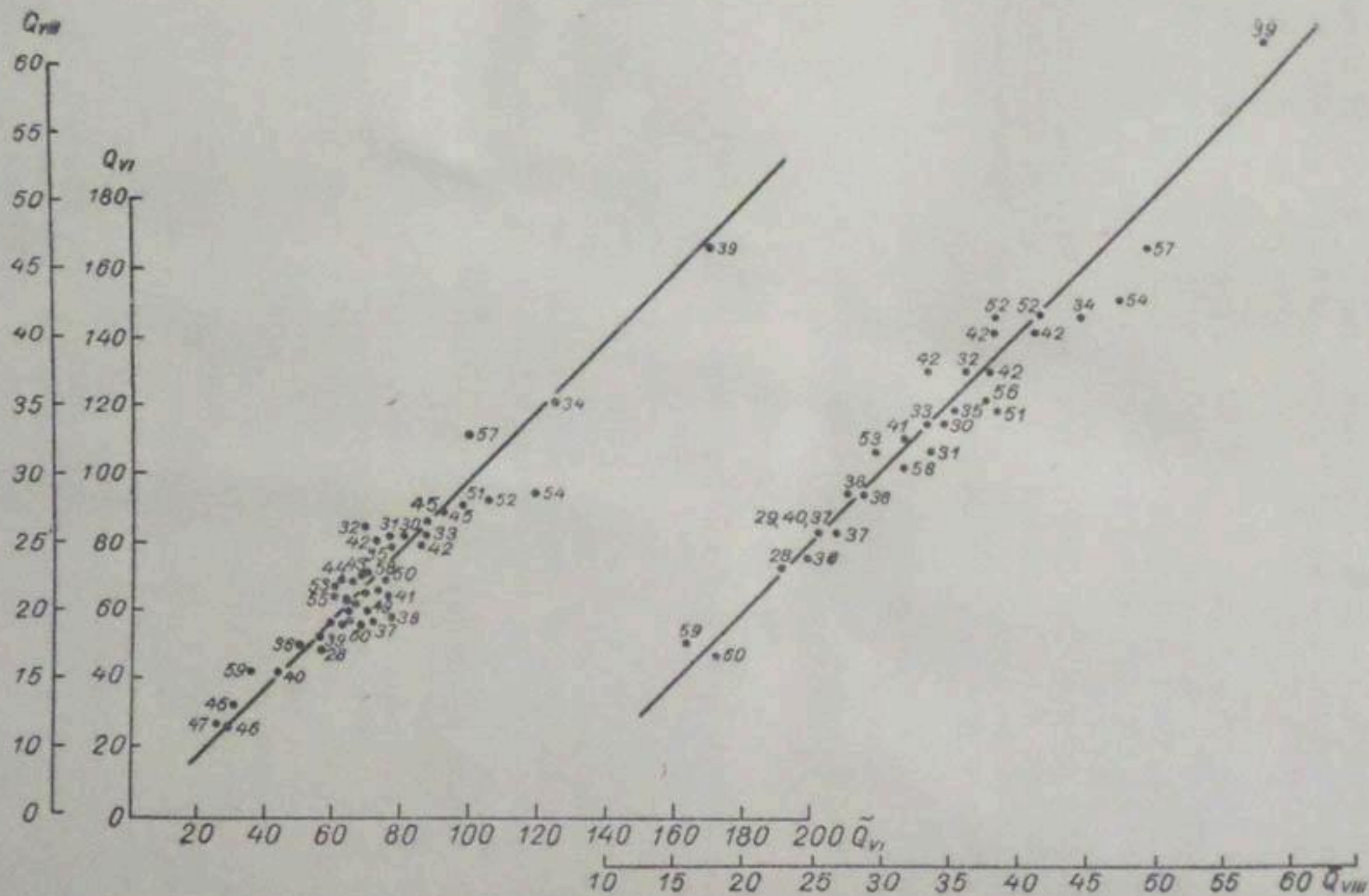


Рис. 6. Зависимость между наблюдаемыми (Q) и предсказанными ($\tilde{Q}$) расходами воды Мургаба у Казыклы-Бента и Тахта-Базара за июнь и август.

Положительные ошибки прогнозов, как и в апреле, встречались чаще отрицательных, но суммы тех и других оказались примерно одинаковыми (см. табл. 6).

Прогнозы на июнь

До 1937 г. прогнозы выпускались около 5 июня, с 1937 г. обычно было два прогноза: первый около 25/IV и второй — около 5/V; с 1952 г. составляется только один прогноз — 25 мая.

Прогнозы очень точные, обычно ошибки не превосходят 5% многолетней амплитуды (рис. 6). Ошибок больше 10% по Тахта-Базару было две, из них одна при большой заблаговременности, другая — при нормальной. Последняя, по-видимому, допущена прогнозистом.

С увеличением заблаговременности точность прогнозов уменьшается (см. табл. 6).

Тенденция к увеличению точности прогнозов с течением времени не обнаруживается, наоборот, наихудшие прогнозы, составленные в нормальный срок, падают на пятидесятые годы.

Метод прогнозов основан на гидрологической инерции; он очень точный; его точность, по-видимому, близка к точности определения расходов воды. Ввиду большой точности прогнозов необходимо увеличить их заблаговременность и систематически выпускать два прогноза: первый 3 мая и второй 23 мая по данным соответственно на 1 и 20 мая.

Имеется систематическая погрешность в прогнозах: ожидалось в общем несколько больше, чем наблюдалось (см. рис. 6, табл. 6).

Прогнозы на июль, август, сентябрь и октябрь

Как и на июнь, прогнозы на указанные месяцы составляются по методу тенденции; точность тех из них, которые составлены с небольшой заблаговременностью, высокая (см. рис. 6). По абсолютной величине ошибки такие же или даже меньше, чем в июне, но относительные ошибки возрастают от июня к августу и снова уменьшаются к октябрю.

Точность прогнозов уменьшается с увеличением заблаговременности.

В июле и августе имеется сильная тенденция к завышению ожидаемого расхода, возрастающая с увеличением расхода воды. В сентябре и в октябре она отсутствует. Причина ее, возможно, состоит в том, что прогнозы, например на июль, составлялись по графику связи июльского расхода с июньским. Когда же прогноз составлялся раньше 1 июля, например 21 июня, то средний расход за июль подсчитывался не за весь месяц, а только за две первые декады, и подставляется в тот же самый график. А так как вода на Мургабе в это время идет на спад, то расход-аргумент всегда оказывался завышенным, отчего завышенным оказывался и ожидаемый расход июля. Точно так же составлялся и прогноз на сентябрь, но так как в августе падение расхода прекращалось, то ошибка в определении расхода-аргумента оказывалась малой, отчего исчезала тенденция к завышению ожидаемого расхода.

Точно не известно, эта или какая-либо другая причина привела к асимметричному распределению ошибок прогнозов, но остается факт, что число положительных ошибок (в процентах от общего числа ошибок) находится в прямой зависимости от разности между средними расходами за две первые декады месяца и за весь месяц, как это видно на рис. 7. Эта связь распространяется на все месяцы вегетационного периода.

Наличие систематических ошибок в прогнозах свидетельствует о неудовлетворительной работе прогнозистов.

Оправдываемость прогнозов расходов воды в Теджене низкая: из 77 прогнозов всех видов оправдался 51%. Оправдываемость прогнозов расходов вегетационного периода составила 50%, не оправдался ни один прогноз на апрель; оправдываемость прогнозов на май, июнь и июль — 75—78%. Половина всех прогнозов имела ошибки, превышающие половину наблюдаемого расхода; имеется довольно много случаев, когда ошибки превышали наблюдаемый расход.

Однако нельзя сказать, что эти прогнозы были безрезультатными, так как между наблюдаемыми и предсказанными расходами имеются

довольно хорошо выраженные зависимости. Из этих связей наиболее слабая для вегетационного периода; ее определили два удачных прогноза: на многоводные годы 1954 и 1956-й; при отсутствии этих прогнозов связи не было бы.

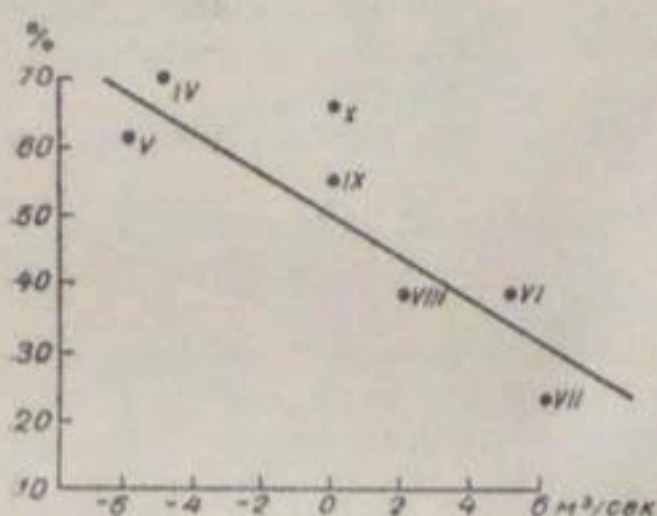


Рис. 7. Зависимость числа прогнозов с положительными ошибками (%) от разности между средними расходами за две первые декады месяца и всего месяца.

Какой расход нужно предсказывать?

Наиболее важными для народного хозяйства являются прогнозы средних расходов за апрель, апрель—июнь и апрель—сентябрь, которые нужно составить не позже 1 апреля. Все эти расходы довольно тесно связаны друг с другом, поэтому разработке метода предсказания

с целью экономии труда можно вести не для всех трех, а для какого-либо одного из них. Методы прогнозов для двух других могут быть потом построены по аналогии. Остановимся на среднем за вегетационный период (апрель—сентябрь) расходе, исследованном наиболее подробно.

Связи среднего расхода за вегетационный период с осадками ближайших метеорологических станций

В самом водосборе Мургаба метеорологических станций нет. Ближайшими к нему являются станции Тахта-Базар и Кушка. Однако со стоком Мургаба осадки этих станций дают слабые связи, да и то только тогда, когда количество их берется за октябрь—май и октябрь—апрель; с осадками за октябрь — март и октябрь—февраль связи отсутствуют (рис. 8).

Более тесной получается связь стока с осадками метеостанции Керки (рис. 9). Однако обращает на себя внимание сильный разброс отдельных точек, в том числе точек самых многоводных лет 1939 и 1903.

Надо полагать, что в эти годы поведение Мургаба было особым, не соответствующим погоде, наблюдавшейся севернее хребтов Копет-Даг, Паропамиз и Гиндукуш. На последнее указывают многие другие связи, по которым сток Мургаба за 1939 и 1903 гг. оказывается завышенным.

Отсутствуют связи стока Мургаба с осадками других метеорологических станций, расположенных на равнинах крайнего юга Средней Азии и обладающих большими рядами наблюдений, как-то: Красноводск, Кызыл-Атрек, Кара-Кала, Ашхабад, Серахс, Байрам-Али, Чарджоу, Термез. Слабые связи обнаруживаются с осадками южных станций:

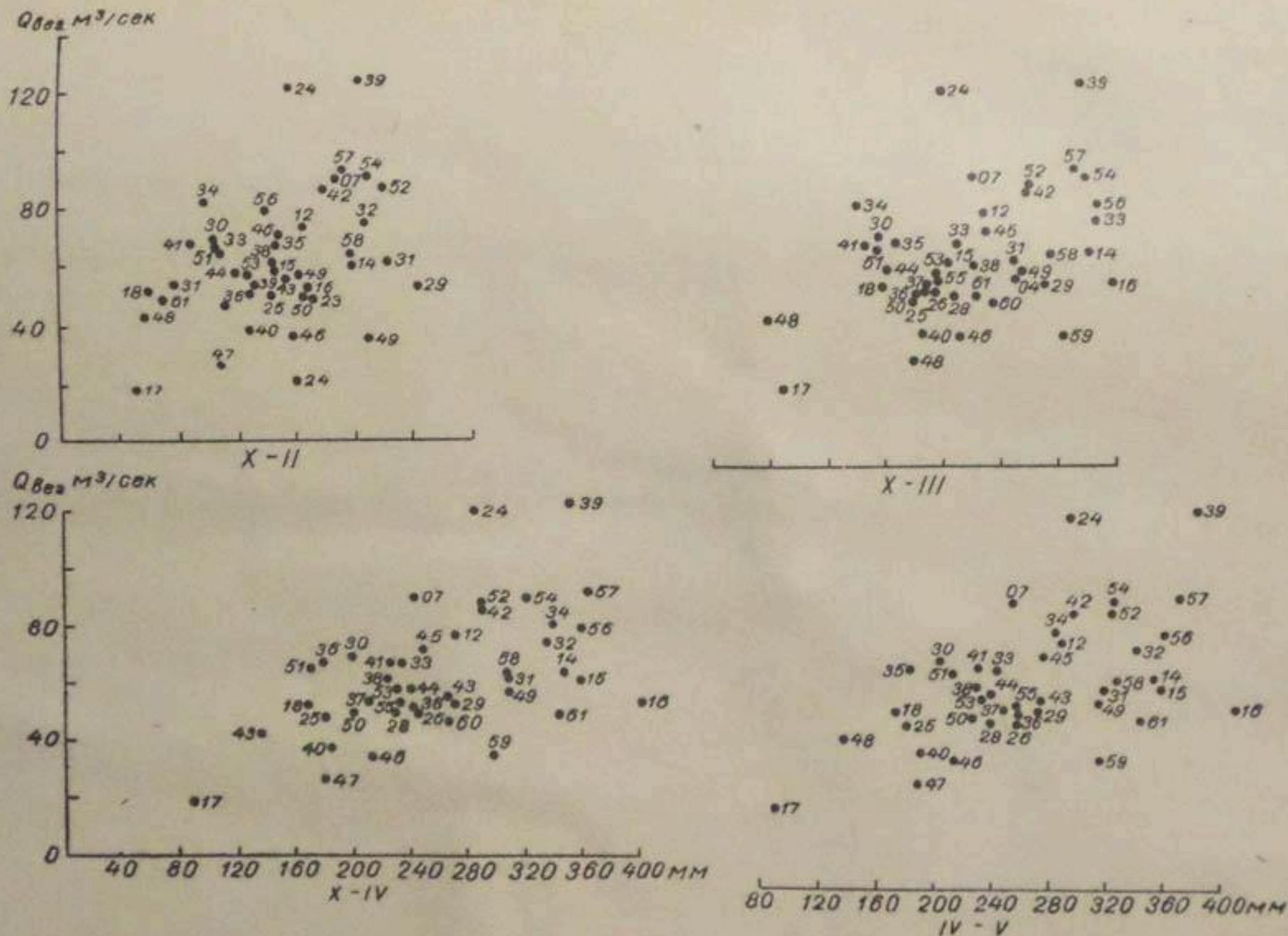


Рис. 8. Зависимость средних расходов Мургаба у Тахта-Базара за вегетационный период ($Q_{\text{вер}}$) от количества осадков в Кушке (x) за октябрь—февраль, октябрь—март, октябрь—апрель, октябрь—май.

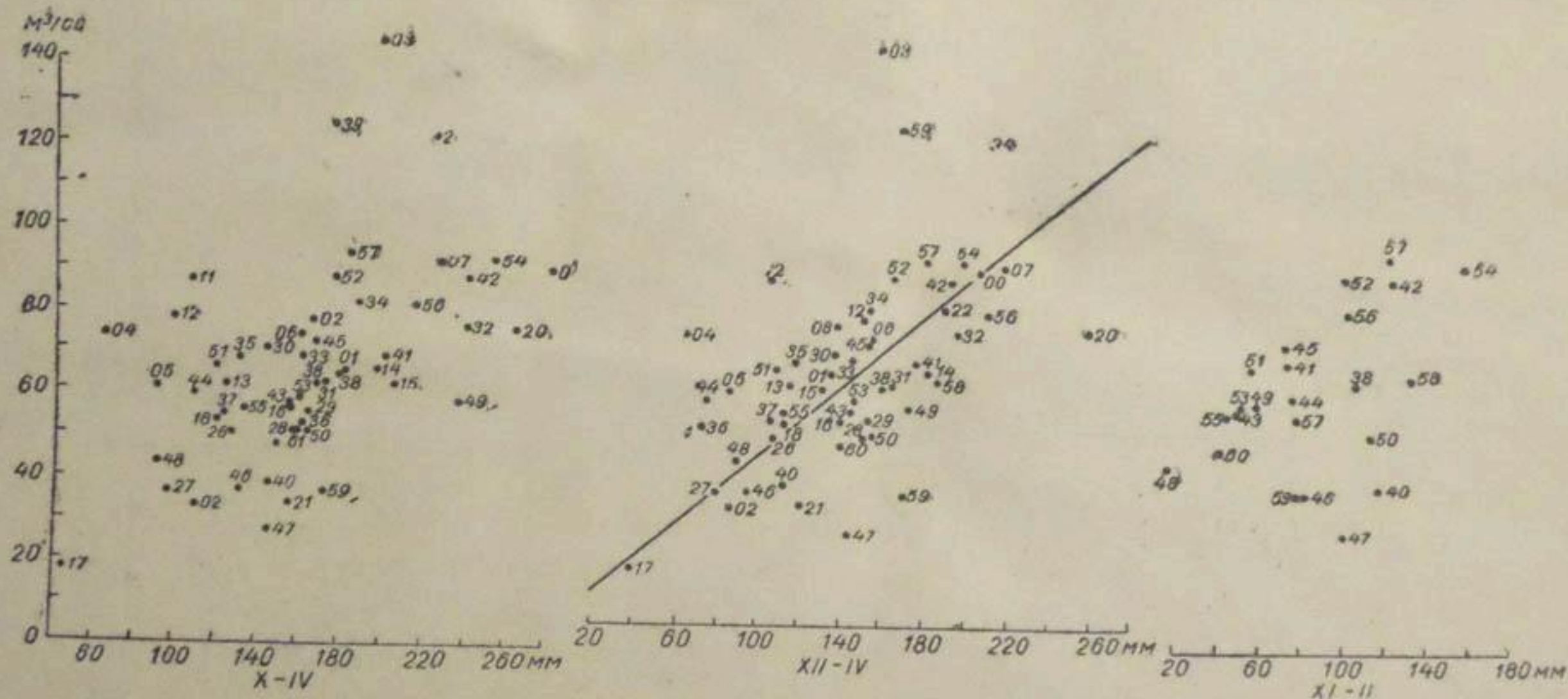


Рис. 9. Зависимость средних расходов Мургаба у Тахта-Базара за вегетационный период от количества осадков в Керках за октябрь—апрель, декабрь—апрель, ноябрь—февраль.

Ширабад ($p=62\%$)¹, Айвадж ($p=70\%$), Байсун ($p=81\%$), имеющих меньший период наблюдений (рис. 10).

Довольно тесная связь имеется с осадками по станции Душанбе за ноябрь—февраль. Эта зависимость будет рассмотрена ниже.

В свое время были найдены довольно тесные связи стока Мургаба и Теджена с осадками ряда станций Пакистана и Ирана. В частности, тесная связь стока Теджена получилась с осадками по станции Мешхед за один только март. Количества осадков по указанным станциям до 1930 г.

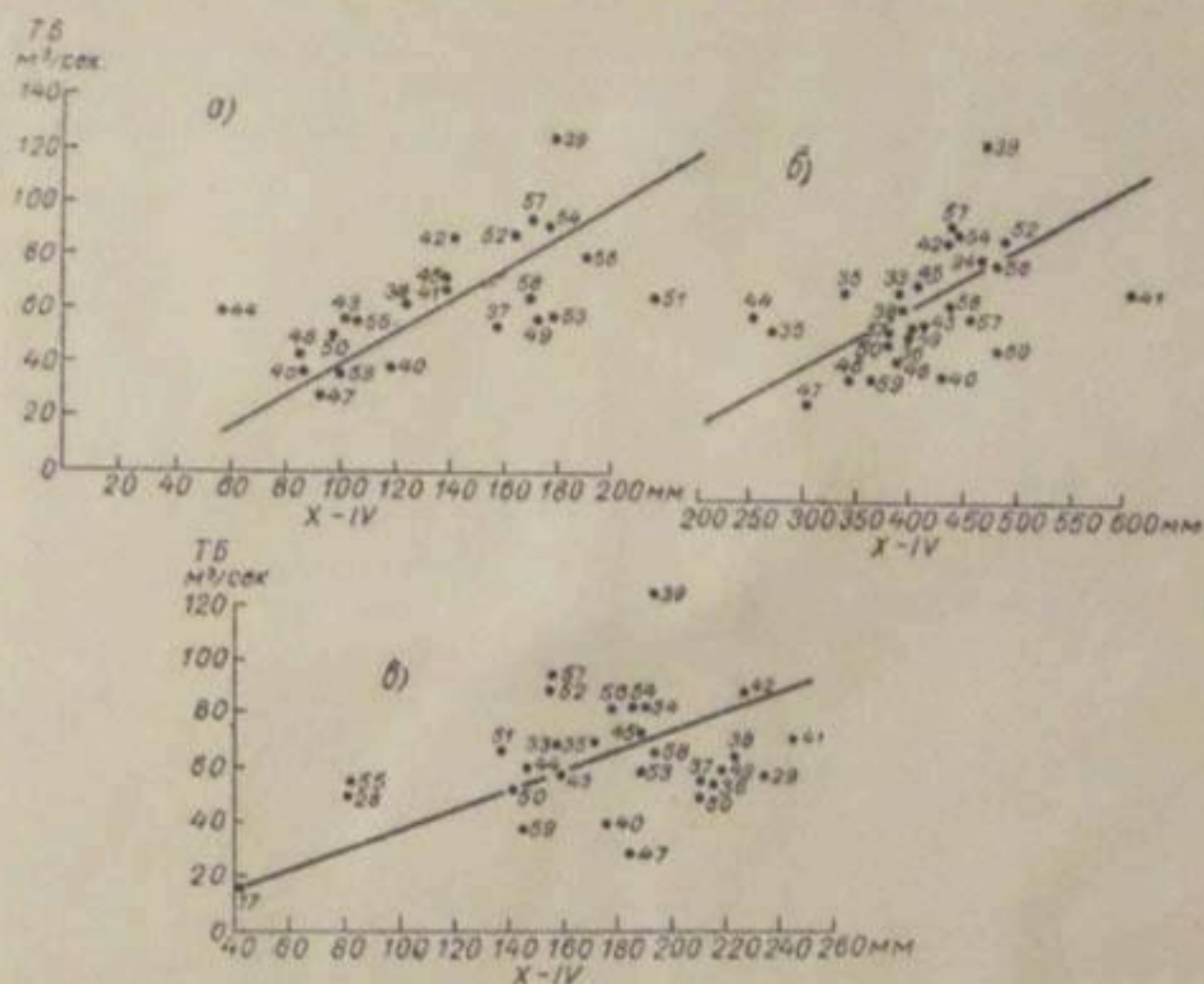


Рис. 10. Зависимость между средними расходами воды Мургаба у Тахта-Базара (ТБ) и осадками за октябрь—апрель по станциям Айвадж (а), Байсун (б) и Ширабад (в).

были взяты из работы Клейтона [16] и за тридцатые годы — из месячных бюллетеней. В настоящее время указанные графики были дополнены наблюдениями пятидесятых годов, отчего все связи «испортились». Осадки за пятидесятые годы взяты из работы [17].

Оценка репрезентативности наблюдений над осадками

Когда обнаруживается прямая зависимость между количеством осадков, например на станции Тахта-Базар и стоком р. Мургаб, то это не значит, что на водосборе Мургаба в среднем выпадает осадков столько же, сколько и в Тахта-Базаре. Там может выпадать их гораздо больше или меньше. Но это и не важно. Важно, чтобы соотношение между ежегодными количествами осадков на водосборе и на станции Тахта-Базар было неизменным за весь многолетний период, иначе, чтобы эти количества были между собой тесно связаны. Чем теснее была бы эта зависимость, тем показательнее была бы станция Тахта-Базар. В идеальном случае, когда связь становится функциональной, прогно-

¹ p — обеспеченность связи.

зисту совсем не нужно знать количество осадков, выпадающих во всем водосборе, ему достаточно знать осадки Тахта-Базара, так как в случае надобности осадки водосбора всегда могут быть точно подсчитаны по осадкам Тахта-Базара. То же самое может быть отнесено к Кушке и любой другой дождемерной станции. Различие заключается в степени показательности каждой станции, т. е. в способности характеризовать водосбор Мургаба в отношении количества выпадающих на нем осадков. То же самое можно сказать и о количестве осадков, осредненном по нескольким станциям.

Таким образом дождемерные данные необходимо рассматривать в качестве не абсолютных, а некоторых относительных показателей количества выпадающих в бассейнах осадков. Связывая сток какой-либо

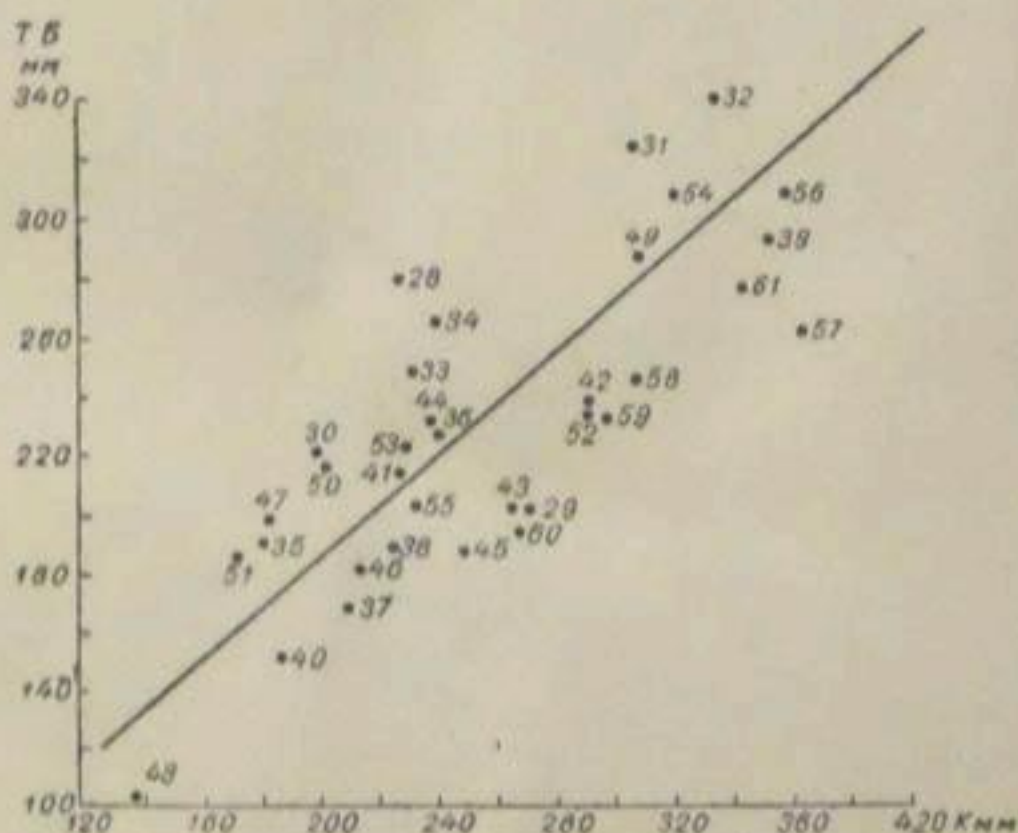


Рис. 11. Зависимость между количествами осадков за октябрь—апрель в Кушке (К) и Тахта-Базаре (ТБ).

реки или группы рек с количеством осадков в различных отдельных пунктах и группах пунктов, следует помнить следующее: связь при прочих равных условиях будет тем теснее, чем ближе к водосбору по горизонтальному направлению находится рассматриваемая станция. На показаниях каждой отдельной станции сказываются многие случайные компоненты, непоказательные для той достаточно обширной территории, которую данная станция характеризует. Осреднение двух, трех и т. д. станций должно приводить к увеличению тесноты связи; но, с другой стороны, увеличение числа станций, по которым осредняются осадки, может происходить только за счет все более и более отдаленных станций, что, согласно вышесказанному, должно приводить к противоположному, т. е. к уменьшению тесноты связи. Таким образом, должно существовать некоторое оптимальное число станций (при данном составе сети станций), количество осадков по которым, осредненное тем или иным способом, должно давать наиболее тесную связь со стоком данной реки или группы рек. Конечно, не следует забывать о репрезентативности каждой станции и качестве наблюдений, влияющих на тесноту рассматриваемых связей. Подробнее об этом см. в работах [7, 8].

Чтобы показать, насколько репрезентативны осадки данной станции для водосбора в целом, нужно было бы путем постановки обширных

наблюдений над осадками на всем водосборе в течение многих лет определить ежегодные значения среднего слоя выпавших осадков, сопоставить их с соответствующими наблюдениями на указанной станции, и тогда теснота этой связи и служила бы мерой показательности данной станции. Но подобных наблюдений не имеется, поэтому точное решение поставленной задачи невозможно. Однако приблизительную оценку показательности станций Кушка и Тахта-Базар можно получить, если построить график связи между ежегодными количествами осадков этих двух станций, например, за октябрь—апрель (рис. 11). Как видим, связь не очень уж тесная: обеспеченность 94%, коэффициент корреляции 0,79, средняя квадратическая ошибка 32 мм (14% ампл.), максимальная ошибка 74 мм (31% ампл.), хотя расстояние между станциями составляет всего 90 км по горизонтальному и 280 м по вертикальному направлению. Очевидно, что связь была бы еще слабее, если осадки в Кушке связывать с осадками не в Тахта-Базаре, а со средними по водосбору, так как водосбор Мургаба удален от Кушки больше, чем станция Тахта-Базар (наиболее удаленные точки водосбора Мургаба находятся от г. Кушки на расстоянии более 250 км). Кроме того, разница в климатических условиях между районом станции Кушка и водосбором больше, чем между районами Кушки и Тахта-Базар.

Зависимость тесноты прогностических связей от коэффициента стока

Если бы можно было ежегодно точно определять количество осадков, выпавших за октябрь—апрель на весь бассейн, то все равно нельзя точно предсказывать сток Мургаба за вегетационный период, так как он определяется не только количеством выпавших осадков, но и испарением и другими факторами. Чем большую долю от количества осадков составляет испарение и другие факторы, тем слабее будет связь стока с количеством осадков, иначе, теснота связи убывает с убыванием коэффициента стока. Судя по всему, коэффициент стока Мургаба невелик (см. выше), поэтому не может быть тесной связь стока Мургаба с истинным средним количеством осадков по его водосбору. Поэтому связь стока Мургаба с количеством осадков за октябрь—апрель в Тахта-Базаре или Кушке должна быть значительно слабее связи, приведенной на рис. 11. В действительности она и оказалась слабой (см. рис. 8).

Сказанное имеет большое значение для прогнозистов. Дело в том, что естественное стремление безгранично совершенствовать методику составления прогнозов прогнозисты зачастую претворяют в поиски наиболее тесных связей, которые на деле оказываются случайными и при накоплении нового наблюдательского материала «портятся». Чтобы избавиться от такого бесполезного труда и направить искания в надлежащее русло, нужно иметь представление о пределе исканий в данном направлении при данном состоянии сети гидрометеорологических станций. Этот предел и характеризует рис. 11.

Нельзя найти такую связь стока Мургаба с количеством осадков на одной из существующих дождемерных станций, которая была бы теснее последней связи и в то же время не была случайной.

Снижение тесноты прогностических связей из-за игнорирования последующих осадков

Выше было указано, что тесноту связей стока с количеством осадков снижает неучтенное испарение и другие факторы. В число этих «других» входит то количество осадков, которое выпадает после составления прогноза. Так, составляя прогноз 1 апреля по количеству осадков

за октябрь—март, мы не учитываем осадки за апрель—сентябрь, из которых осадки за апрель и май сильно влияют на сток Мургаба. О том, как могут влиять на тесноту прогностических связей неучтенные последующие осадки, можно судить по рис. 12, на котором показаны связи количества осадков в Кушке с октября по май с количествами осадков на той же станции с октября по апрель, по март, по февраль и по январь. На графике видно, что количество осадков за октябрь—май можно «предсказывать» 1 мая с большой точностью (обеспеченность 100%) по осадкам за октябрь—апрель. Сделать это 1 апреля по осадкам за октябрь—март также можно, но гораздо менее точно (обеспеченность 95%). Связь с осадками за октябрь—февраль становится уже совсем слабой (обеспеченность 81%), а с осадками за октябрь—январь она непригодна для практического использования (обеспеченность 61%).

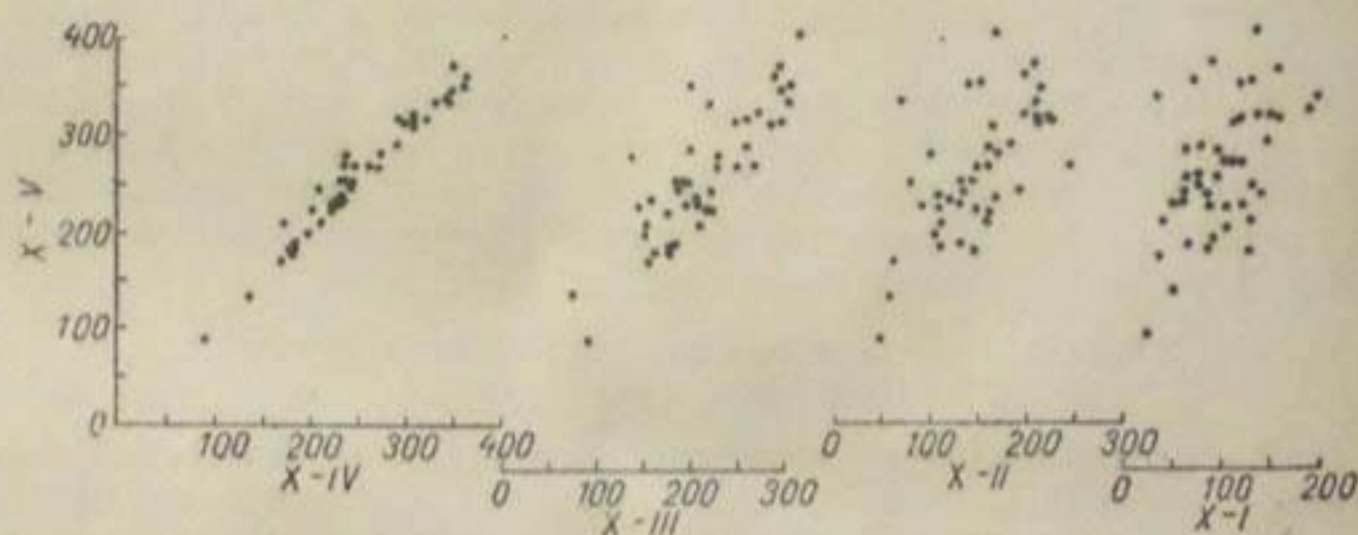


Рис. 12. Связь количества осадков (в мм) за октябрь—май с количеством осадков за октябрь—апрель, октябрь—март, октябрь—февраль и октябрь—январь по гидрометстанции Кушка.

Эти графики можно интерпретировать следующим образом. Представим себе, что сток Мургаба целиком и полностью определяется количеством осадков в Кушке за октябрь—май. Тогда по осадкам за октябрь—май можно абсолютно точно предсказывать сток Мургаба; если же брать осадки за октябрь—апрель, то прогноз получится весьма точный, хотя и не абсолютно точный. Прогноз по осадкам за октябрь—февраль находится на грани допустимого (обеспеченность 81%; лишь немного выше допустимых 80%), а по осадкам за октябрь—январь он уже негоден (обеспеченность меньше допустимой).

Так как сток Мургаба за вегетационный период в действительности определяется количеством осадков за октябрь—май, хотя и приближенно, то нет оснований считать, что исходя из количества осадков в Кушке, например за октябрь—февраль, можно определять сток Мургаба точнее, чем осадки в Кушке за октябрь—май; скорее всего наоборот: т. е., как бы ни были репрезентативны осадки в Кушке за октябрь—февраль, нельзя рассчитывать на то, что обеспеченность связи их со стоком Мургаба будет больше 81%. Точно так же по осадкам в Кушке за октябрь—январь невозможно предсказать сток Мургаба с оправдываемостью больше 61%. Если же удастся получать более тесные связи, то при наших коротких рядах это будут ненадежные, случайные связи.

Переход к взвешенным суммам осадков

Сравнивая сток Мургаба с осадками, автор пользовался их простыми суммами, тогда как, может быть, правильнее было бы применять взвешенные суммы. Это диктуется рядом обстоятельств.

Как уже говорилось, используемые количества осадков по равнинным станциям являются своего рода заменителями тех истинных количеств осадков, которые выпадают в самом водосборе реки. Для перехода к ним от осадков-заменителей нужно было бы брать их с коэффициентами, меняющимися от месяца к месяцу. Зимой на равнинах осадков часто выпадает больше, чем в горах, а летом, наоборот, в горах больше, чем на равнине. По этой причине указанные коэффициенты должны убывать от лета к зиме и возрастать от зимы к лету. Эти переходные коэффициенты должны зависеть от высоты местности водосбора и самой исходной станции.

Так как истинные количества осадков превращаются в сток с различной долей потерь, то переходные коэффициенты должны зависеть от коэффициентов стока, меняющихся по временам года. Вообще эти месячные коэффициенты должны меняться год от года, но для простоты будем считать их постоянными величинами, имеющими свой годовой ход, зависящий от ряда климатических, гидрорежимных и прочих физико-географических факторов.

Были определены коэффициенты четырех типов (см. статью П. М. Машукова в настоящем сборнике) как функции ежегодной температуры воздуха на опорной станции и гипсографии водосбора. Температура бралась по станции Алтын-Мазар, а осадки — как среднее из наблюдений в Кушке и Тахта-Базаре. Вычисления сделаны за 18 лет, с 1942-43 по 1959-60-й гидрологические годы. Коэффициенты корреляции стока Мургаба с простыми и взвешенными суммами осадков приведены в табл. 8.

Таблица 8

Период суммирования	Коэффициенты при месячных суммах осадков			
	1	f_1	f_2	f_3
X—III	0,54	0,46	0,51	0,58
X—IV	0,63	0,45	0,58	0,52
X—V	0,58			
X—VI	0,67			
X—IX	0,67	0,45	0,58	0,52

f_1 — коэффициент, зависящий от температуры воздуха и от гипсографии водосбора; f_2 — коэффициент, зависящий только от температуры, все высотные зоны по площади приняты равновеликими; f_3 — коэффициент, зависящий от температуры, гипсографии и условия, что слой осадков равномерно возрастает с высотой местности.

Как видим, за одним случайным исключением, простые суммы осадков дают наиболее тесные связи со стоком. Следовательно, применение взвешенных сумм осадков рассмотренных типов вместо простых себя не оправдало.

Учет интенсивности осадков

Учитывая то обстоятельство, что коэффициенты стока зависят от интенсивности осадков, в связях со стоком Мургаба были использованы суммы осадков за октябрь—февраль, октябрь—март, октябрь—апрель и октябрь—май, превышающие 5, 10, 15 и 20 мм в сутки. Связи оказались

слабее, чем с простыми суммами осадков. К таким же результатам привело построение аналогичных связей с суммами осадков меньше 5, 10, 15 и 20 мм в сутки.

Расход марта как заменитель количества осадков. Способ введения его в прогностическую связь

Заменителем истинных количеств осадков, т. е. осадков, выпадающих на водосборе, могут быть не только дождемерные данные по станциям, расположенные вне водосбора, но и средний расход воды в самом Мургабе за март. В этот месяц половодье уже начинается, поэтому по расходу воды за март можно кое-что сказать о будущем стоке за все половодье: чаще всего оно будет тем больше, чем больше воды в марте. Суммируя расход воды в марте и количество осадков, предварительно умножив их на некоторые коэффициенты, получим новую величину, характеризующую запас влаги в водосборе по состоянию на 1 апреля, притом точнее, чем каждая из указанных величин, взятая отдельно.

Расход реки за март связан со стоком половодья еще и тем, что он включает в себя грунтовую составляющую, общую с половодьем, следовательно, и по этой причине его следует включать в прогностическую связь.

Однако такой способ учета величины стока за март имеет и свои отрицательные стороны. Расход воды в марте может быть высоким не только при большом количестве снега в горах, но и при относительно высокой температуре воздуха в марте. Чтобы расход марта действительно характеризовал запасы влаги в водосборе, нужно внести в него поправку на температуру воздуха. Эта поправка должна приводить к уменьшению влияния мартовского расхода на сток с увеличением температуры воздуха. В работе Машукова 1949 г. она принята пропорциональной поверхностному стоку в марте $Q_{III} - Q_I$ и эффективной температуре воздуха в Термезе за 13 час. также за март $t - 15$; когда эти разности становятся отрицательными, их приравнивают нулю, как это следует из самого определения эффективной величины (действие эффективной величины начинается только после перехода ее через нулевое значение в положительную сторону). Средний расход января рассматривается как грунтовое питание и вычитается из мартовского расхода.

Окончательно исправленный средний расход марта Машуков представил в следующем виде:

$$Q_{III \text{ испр}} = Q_{III} - 0,1(Q_{III} - Q_I)(t_{III} - 15^\circ). \quad (1)$$

Путем простейших преобразований его можно представить также в виде

$$Q_{III \text{ испр}} = Q_{III} \left[1 - 0,1 \left(1 - \frac{Q_I}{Q_{III}} \right) (t_{III} - 15^\circ) \right] = k Q_{III}, \quad (2)$$

где

$$k = 1 - 0,1 \left(1 - \frac{Q_I}{Q_{III}} \right) (t - 15^\circ) \quad (3)$$

играет роль поправочного коэффициента.

В той же работе совместное использование количества осадков за ноябрь-февраль в Душанбе v и среднего расхода воды за март Q_{III} с поправкой на температуру воздуха t_{III} было выражено в виде двух формул:

$$x_1 = 0,29v - 35, \quad (4)$$

$$x_2 = 0,86 [Q_{III} - 0,1(Q_{III} - Q_I)(t_{III} - 15^\circ)] = 0,86 Q_{III \text{ испр}}. \quad (5)$$

Подставляя на место v , Q_{III} , Q_I и t_{III} их наблюдаемые ежегодные значения, получают для каждого года пару чисел x_1 и x_2 , из которых берут наибольшее и обозначают его через x . Построив график связи $Q_{\text{вер}}$ с x , получают искомую прогностическую связь (см. рис. 16б). Здесь необычен переход от аргументов x_1 и x_2 к ожидаемому расходу $Q_{\text{вер}}$, т. е. необычен вид функции

$$\tilde{Q}_{\text{вер}} = f(x_1, x_2).$$

Ее обычно представляют в виде формулы

$$\tilde{Q}_{\text{вер}} = ax_1 + bx_2 + c,$$

в которой числа a , b и c находят по способу наименьших квадратов или каким-либо другим общепринятым способом. Автор же аргументы v и Q_{III} сначала заменил линейными функциями от них $x_1 = 0,29v - 35$ и $x_2 = 0,86Q_{III \text{ испр.}}$, что, как известно, не вносит в расчеты ничего существенного, а затем из чисел x_1 и x_2 взял наибольшее. Нет оснований считать такой способ расчета хуже указанных общепринятых способов, по крайней мере в данном случае.

Сравнивая рис. 16б с исходным рис. 16а, обнаруживаем заметное улучшение связи, обусловленное учетом расхода и температуры в марте.

Попытка применения индексов атмосферной циркуляции к прогнозам стока Мургаба

В УГМС Туркменской ССР В. Н. Юмашева, следуя Г. Ф. Пастуховой [12], сделала попытку использовать для прогноза стока Мургаба и Теджена индексы атмосферной циркуляции. Она определяла ежедневную высоту 700-миллибаровой поверхности в динамических декаметрах для станций Ленинград (Л), Астара (А) и Душанбе (Д) и затем за каждый день вычисляла вспомогательные переменные $K = A - Л$, $B = Д - Л$ и, наконец, $I = K + B = A + Д - 2Л$. Последняя величина была названа индексом атмосферной циркуляции.

Затем были подсчитаны средние месячные значения индекса циркуляции и графически сопоставлены со стоком Мургаба и Теджена. Результат получился отрицательный. Не дали желаемых результатов и связи стока с индексами, осредненными за октябрь—январь, октябрь—февраль и октябрь—март.

Чтобы до конца использовать труд Юмашевой по составлению таблиц ежедневных значений высоты изобарической поверхности, автором были вычислены средние месячные значения этой высоты для всех трех станций. Сделано это следующим образом. Средняя месячная $I = A + Д - 2Л$ получена из таблиц Юмашевой в готовом виде, величины $Л$ и $K = A - Л$ были подсчитаны из ежедневных данных Юмашевой. Высота A над Остарой вычислялась по формуле $A = K + Л = A - Л + Л = A$ и над Душанбе $Д = K + Л = A + Д - 2Л - (A - Л) + Л = A + Д - 2Л - A + Л + Л = Д$.

Обращает на себя внимание малая изменчивость этих величин год от года. Действительно, за 19 лет величина $Д$ в октябре колебалась в пределах всего от 303 до 314 дкм, т. е. многолетняя амплитуда составила всего 11 дкм, что соответствует изменению давления примерно на 10 мб. Из-за малой изменчивости указанные величины не могут давать тесные зависимости с каким-либо переменным, например с осадками, стоком и т. д. Построив соответствующие графики связи, автор не нашел какой-либо зависимости между этими величинами и стоком Мургаба. Аналогичные связи со стоком Теджена не строились, так как и на глаз видно, что связи отсутствуют.

Итак, мы пришли к выводу, что связи между высотой 700-миллибаровой поверхности и стоком Мургаба и Теdjена отсутствуют.

Подобного рода работа была выполнена в УГМС Азербайджанской ССР, и результат ее опубликован в статье Г. Ф. Пастуховой [12]. Индекс вычислялся по средним месячным значениям 500-миллибаровой поверхности точно таким же способом, как это делала Юмашева, только вместо Ленинграда была взята Сула и вместо Душанбе и Астары — Стамбул и Гурьев. Для прогнозов стока был применен индекс, осредненный за октябрь—февраль. Пастухова утверждает, что обеспеченность связи этого индекса со стоком половодья с учетом допустимой ошибки составляет 81%, однако графиков связи не приводит. В статье помещены два графика связи количеств осадков за ноябрь—март со средним индексом за неизвестный период. Графики дают лишь намек на обратную связь. Надо думать, что связь отсутствует, а намек на связь является делом случая.

О надежности прогностических связей

По виду графика связи или по коэффициенту корреляции можно судить о точности той или иной связи, но почти ничего нельзя сказать о ее надежности. Может случиться, что первоначально тесная связь по мере накопления новых наблюдений станет слабой, что при употребляемых в гидрологии коротких рядах всегда возможно.

Вопрос о надежности применяемых в практике прогностических связей является весьма трудным и почти не изучался. Автором были указаны [8] примеры очень тесных зависимостей подобного рода, которые вскоре «портились», т. е. коэффициенты корреляции их с добавлением новых точек уменьшались. Это объяснялось тем, что первоначально большие значения коэффициентов корреляции были случайными, причем это обстоятельство нельзя было заранее обнаружить, так как методы математической статистики не указывали на случайность высоких коэффициентов корреляции.

Так, коэффициент корреляции снегозапасов в долине р. Чаткала со средним расходом Чирчика за вегетационный период по наблюдениям первых семи лет снегосъемки составил 0,98. Вычисляя, по Фишеру, вероятности того, что истинный коэффициент корреляции в одном случае лежит в пределах от 0,90 до 1,00, а в другом — от 0,61 до 0,00, нашли их равными соответственно 0,96 и 0,0004; т. е. вероятность того, что истинный коэффициент корреляции меньше 0,90, весьма мала. Однако в действительности получилось иначе: после 12 новых лет наблюдений коэффициент корреляции с 0,98 упал до 0,61, т. е. теория оценки надежности рассмотренной связи себя не оправдала. Это случилось, по-видимому, потому, что не была соблюдена случайность выборки. Прогнозисты сознательно искали тесную связь, перебирая множество различных связей, и в конце концов наткнулись на нее. Как видим, одной теории вероятностей не всегда бывает достаточно, чтобы решить случайна или неслучайна высокая теснота данной эмпирической связи. Связи могут портиться вследствие вековых изменений климата, своеобразным выражением которого они являются.

Ниже рассмотрим несколько таких испортившихся связей, взятых из работ по прогнозам стока Мургаба за вегетационный период.

Для прогноза среднего расхода вегетационного периода в 1931 г. была использована формула

$$Q_{\text{вег. кб}} = 0,49x + 0,24y + 3,9t + 50, \quad (6)$$

где $Q_{\text{вег. кб}}$ — средний расход Мургаба за вегетационный период y

Казыклы-Бента, x — количество осадков в Нарыне, y — средний расход Мургаба в марте и t — средняя температура воздуха в Нарыне за январь; число лет 10, полный коэффициент корреляции 0,92. Проверка, произведенная автором по данным пяти лет (1932—1936 гг.), показала, что, несмотря на высокий полный коэффициент корреляции, формула была, как и следовало ожидать, случайна, так как за все эти годы вычисленные величины были систематически ниже наблюдаемых на 21—58%.

В работе П. М. Машукова 1937 г. интерес представляют линейные формулы, включающие осадки пакистанских и иранских метеорологических станций за октябрь—март и расходы за март и октябрь. Например, формуле

$$Q_{\text{вер. КБ}} = 1,19x + 0,172y - 21, \quad (7)$$

(где x — средний расход воды за март, y — сумма осадков в Лагоре и Лехе за октябрь—март), построенной по 23 точкам, отвечает полный коэффициент корреляции 0,91. Связь вряд ли устойчива, так как три точки (1903, 1925 и 1929 гг.) далеко отклоняются от линии регрессии, а это как раз и является признаком неустойчивости связи. Дополнение этой связи точками с 1935 по 1950 г. испортило связь и подтвердило ее неустойчивость.

В этой же работе фигурирует довольно тесная на вид связь $Q_{\text{вер. КБ}}$ с количеством осадков в Керках за декабрь—апрель (см. рис. 9), описанная ранее. Она, по-видимому, надежна, так как точки, полученные по наблюдениям с 1937 (год, когда связь была построена) по 1958 г., заняли на координатной плоскости то же положение, что и точки прежних наблюдений. Автор считает необходимым включить эту связь в число опорных, реперных, предварительно изучив ее более подробно и сравнив со связями, построенными по наблюдениям над осадками в том же районе.

В работе Машукова 1941 г. приводится тесная связь $Q_{\text{вер. КБ}}$ с аргументом

$$z = 0,57x + 0,37y + 5, \quad (8)$$

где x — средний расход в Тахта-Базаре за третью декаду марта и y — сумма осадков в Мешхеде за март. Было добавлено несколько точек, для которых отсутствовали расходы у Тахта-Базара были заменены расходами у Казыклы-Бента с соответствующими поправками, и теснота связи сразу уменьшилась. Надо полагать, что высокая теснота связи и этого графика была случайной за счет того, что в формулу вошло количество осадков всего за один месяц.

Такая же судьба постигла довольно тесную связь стока Мургаба с осадками за октябрь—март в Лагоре и Лехе.

Связь стока с количеством снега в долине р. Обихингоу

Некоторое подтверждение неслучайности связи стока Мургаба с осадками в Душанбе за ноябрь—февраль дает зависимость этого стока от водности снега в долине р. Обихингоу (рис. 13), предложенная В. Н. Паршиным [13]. Этот автор за исходные величины принял наблюдаемые значения водности снежного покрова на шести снегомерных пунктах и пересчитал их в снегозапасы бассейна р. Мургаб. Способ пересчета, как удалось показать [6], можно заменить расчетом по формуле

$$w = (0,0067w_1 + 0,0066w_2)^2 + 0,039w_2 + 0,038w_3 + 0,044w_4 + 0,033w_5 + 0,091w_6, \quad (9)$$

где $w_1, w_2, \dots$ — водность снега на снегомерных пунктах № 1, 2, ... в конце февраля.

В пользу устойчивости связи (рис. 13) говорит как будто и то, что теснота ее за последние шесть лет мало уменьшилась. Однако рассмотрим эту связь подробнее, начав с исходных данных.

Обихингоу течет в западном направлении, снегомерные пункты расположены на дне долины, нумерация их идет снизу вверх. Ниже приводятся многолетние данные о водности снежного покрова.

На снегосъемку тратилось от 7 до 10 суток. Наблюдения над снежным покровом полагается делать в последние дни февраля и марта, на самом деле нередко имеются большие отклонения от этих сроков. Так,

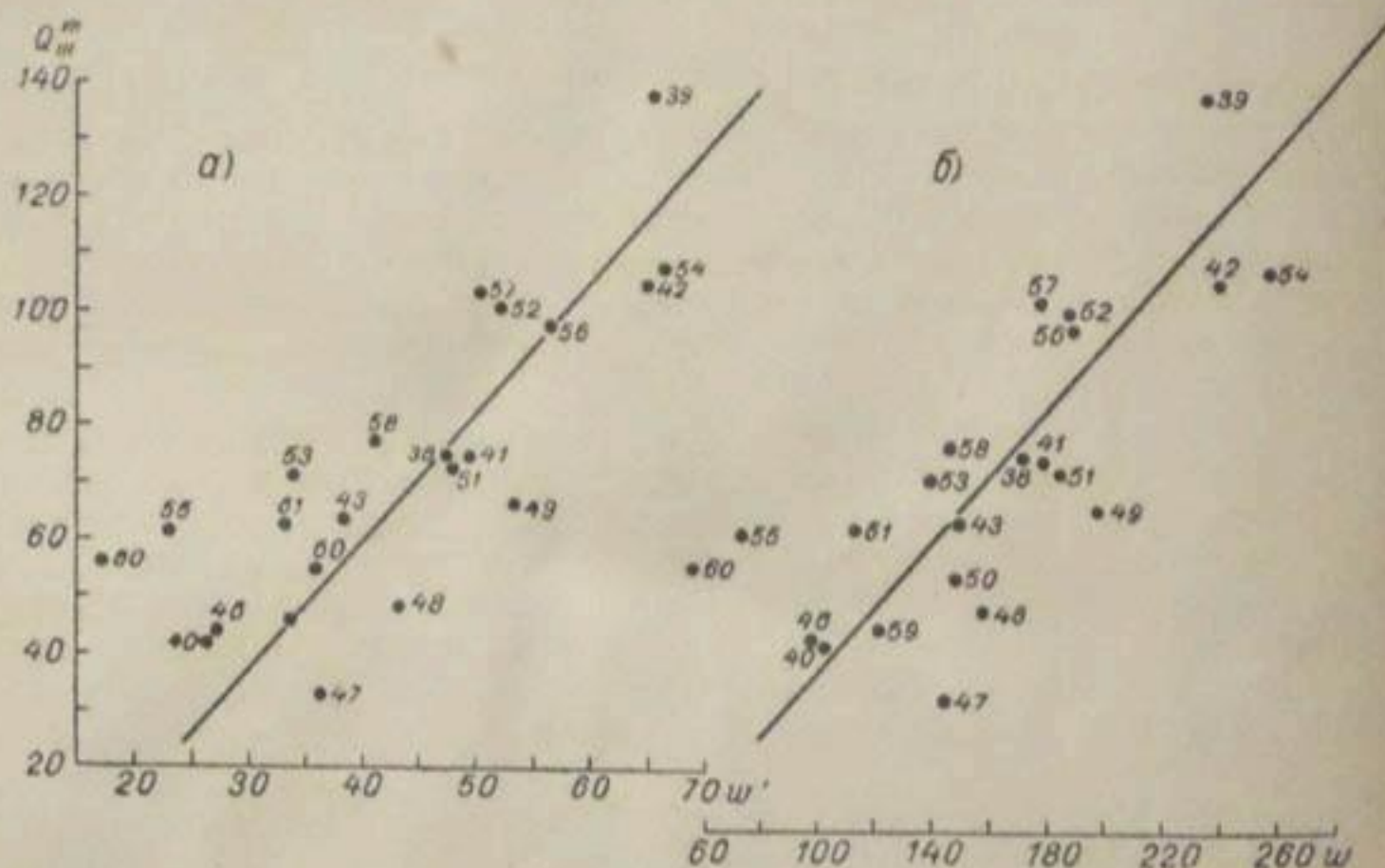


Рис. 13. Зависимость средних расходов воды р. Мургаб у Тахта-Базара за март—июль от водности снега на конец февраля (а), по Паршину, и средней водности в долине р. Обихингоу (б).

самая ранняя февральская снегосъемка была проведена с 15 по 24 февраля, а самая поздняя — с 29 февраля по 10 марта. Такая неодновременность в производстве снегосъемок от пункта к пункту и от года к году делает ряды водности снежного покрова недостаточно однородными. Особенно это относится к самым нижним снегомерным пунктам, где снежный покров и зимой неустойчив, не говоря уже о весне. Наблюдатель на данном пункте может оказаться сразу после снегопада, и тогда он получит высокое значение водности снега, но если бы он приехал на этот снеготочку декадой позже, то мог бы найти площадку свободной от снега. По этой причине структуру выражения для аргумента w нельзя признать совершенной, так как в него вошли показания самых нижних снегомерных пунктов № 1 и 2 с неустойчивым снежным покровом с усиленным весом, тогда как должно быть наоборот. Действительно, суммы показаний обоих пунктов возведены в квадрат, а пункт № 2 входит в формулу дважды.

В конце марта снежный покров неустойчив во всей долине. Так, на самом верхнем (из рассматриваемых здесь) снегомерном пункте, № 6, снег отсутствовал в среднем каждый третий год, а на самом нижнем, № 1, — два раза каждые три года. За все 20 лет наблюдений только на

четвертой части снегомерных пунктов в конце марта снега было больше, чем в конце февраля.

По той же формуле (9) Паршин вычислял «максимальные» снегозапасы. Для этой цели на место $\omega_1, \omega_2, \dots$ подставлялись наивысшие значения из февральских и мартовских показаний снегомерных пунктов. Например, за 1953 г. по пунктам № 1, 2 и 3 была взята водность снега за февраль, а по остальным — за март, так как на первых трех пунктах снега было больше в феврале, а на последних — в марте. Очевидно, подобные вычисления не дают максимального значения снегозапасов, так как последнее обычно будет наблюдаться между концом февраля и концом марта, т. е. максимальные снегозапасы Паршина носят условный характер. Однако указанный способ учета снега, выпавшего после февральской снегосъемки, нельзя считать порочным.

Анализ метода В. Н. Паршина

Несовершенство формулы (9), помимо сказанного, состоит еще и в неправильном подборе коэффициентов при ω_i . Эти коэффициенты Паршиным взяты пропорциональными площадям соответствующих высотных зон в бассейне Мургаба, против чего возражать не приходится, и пропорциональными поправочным коэффициентам, которые вычислены Паршиным неверно. Паршину нужно было чтобы многолетняя средняя водность снега $\bar{\omega}_i$ зависела от высоты местности снегомерного пункта H_i . Такая зависимость в действительности получилась, но со значительным разбросом точек; особенно отклонились в сторону меньших величин данные пункта № 6 (рис. 14 а). Полагая, что разброс точек является случайным, Паршин к показаниям снегомерных пунктов ω_i ввел поправочный коэффициент $\frac{\bar{\omega}_i}{\omega_i'}$, где ω_i' — многолетняя средняя водность снега, вычисленная по графику (рис. 14 а) соответственно высоте снегомерного пункта H_i .

Намереваясь делать приводку к точной связи с высотой местности, Паршин поступил правильно, но неверно избрал объект приводки. Приводить нужно было не самую водность снега, а ее изменчивость, так как именно она определяет тесноту и прочие параметры связи. Покажем это.

Представим себе, что в рассматриваемом водосборе имеется обширное плато, на которое ежегодно выпадает большое количество снега, а сток с этого плато составляет в среднем за многолетний период примерно половину стока всего водосбора. Но допустим, далее, что на это плато ежегодно выпадает одно и то же количество снега и в связи с этим сток с плато также не подвержен изменению год от года. Отсюда

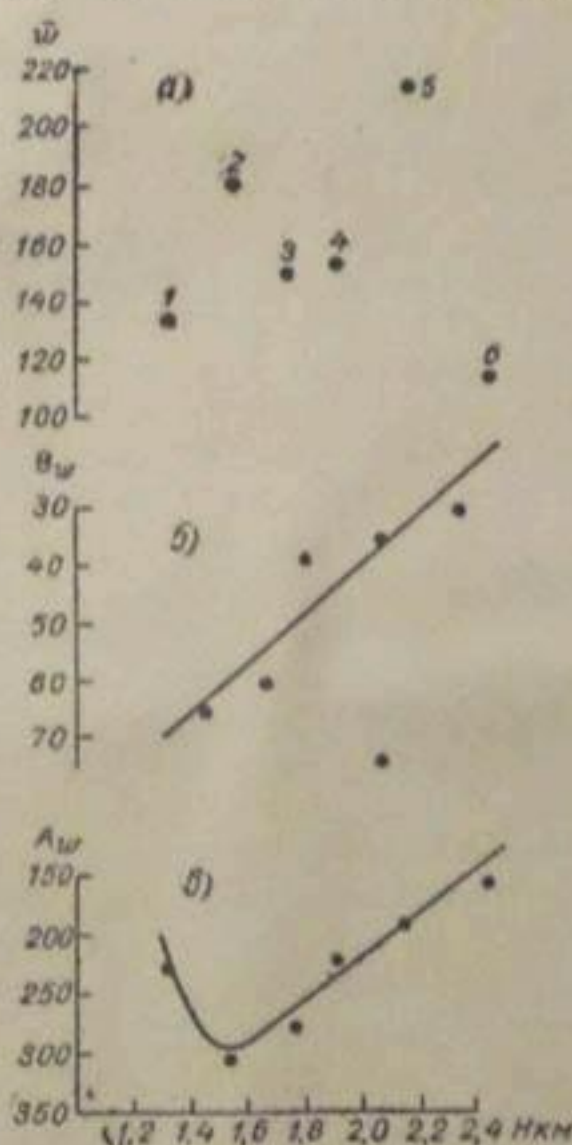


Рис. 14. Зависимость водности снега (а), ее среднеквадратического отклонения (б) и амплитуды водности снега (в) от высоты местности (H).

следует, что на колебания стока реки год от года, которые только и надлежит предсказывать, наше плато никакого влияния оказывать не будет. Эти колебания будут целиком определяться остальной частью водосбора. Вообще же колебания стока год от года определяются не величиной снегозапасов, а их изменчивостью год от года, например средним квадратическим отклонением.

На математическом языке сказанное можно изложить следующим образом. Рассмотрим выражение (18) для средних по бассейну реки снегозапасов $\bar{\omega}$. Эта величина потом будет использована в качестве аргумента связи со стоком Мургаба. Вычислив ежегодные ω_j , где j — номер года в многолетнем ряду, и нанося их на график (см. рис. 13), получаем ежегодные значения стока Мургаба $\bar{Q}_j$. Очевидно, что эти числа не изменятся, если при построении графика (см. рис. 13 а) аргументом является не ω_j , а любая непрерывная функция от него $f(\omega_j)$. Такое преобразование аргумента может повлиять только на вид линии связи, но не окажет влияния на результат вычисления $\bar{Q}_j$. В частности, $\bar{Q}_j$ не изменится, если все значения водности снега на снегомерных пунктах $\omega_1, \omega_2, \dots$ увеличить в любое, но одинаковое число раз и к результату прибавить любое постоянное число. Оказывается, далее, что $\bar{Q}_j$ не изменится, если показания разных снегомерных пунктов увеличить или уменьшить на разные величины, т. е. если в формуле (18) $\omega_1, \omega_2, \dots$ заменить на $\omega_1 + a_1, \omega_2 + a_2, \dots$. Например, если показания пункта № 3 увеличить на 1000 мм, а показания других снегопунктов оставить неизменными. Но $\bar{Q}_j$ сразу же изменится, если $\omega_1, \omega_2, \dots$ увеличить в разное число раз. В частности, если показания пункта № 3 увеличить в 1000 раз (или увеличить в столько же раз коэффициент при ω_3), не изменяя показания других, то этим самым связь (см. рис. 13) целиком определится показаниями одного этого пункта, так как влияние остальных пунктов было бы исчезающе малым.

Своей приводкой к гладкой связи Паршин увеличил показания пункта № 1 в 0,88 раза, № 2 — в 0,85, № 3 — в 1,10, № 4 — в 1,25, № 5 — в 0,94 и № 6 — в 1,82 раза. Этим самым во столько же раз увеличилась изменчивость водности снега на соответствующих пунктах и увеличилось влияние каждого из них на результат. Наиболее увеличился вес (почти в два раза) пункта № 6. Спрашивается, была ли во всем этом надобность? Чтобы ответить на этот вопрос, нужно сопоставить изменчивость водности снега на каждом пункте с его высотой. На рис. 14 приводятся связи высоты местности и многолетней средней водности снежного покрова, ее среднего квадратического отклонения и многолетней амплитуды. Две последние величины служат в качестве показателя изменчивости водности; они очень тесно связаны с высотой местности, особенно последняя, и поэтому отпадает надобность вводить какие-либо поправки на отступления их от точной связи, как это сделал Паршин. Не укладывается в прямолинейный закон точка снегомерного пункта № 1, для которого амплитуда оказалась больше, чем для пункта № 2, расположенного более высоко.

Связь среднего квадратического отклонения с высотой местности слабее, чем с амплитудой (см. рис. 14 б), по-видимому, благодаря случайности. Однако и эта связь достаточно тесна, и привошки делать не нужно. Последняя, по Паршину, предназначается для того, чтобы восстановить закон возрастания водности снега с высотой местности, искаженный местными особенностями каждого отдельного снегомерного пункта. Сам же закон изменения водности снега с высотой местности, установленный для долины Обихингоу, Паршин переносит без особого

изменения на водосбор Мургаба, полагая, что в водосборе Мургаба изменение водности снега с высотой местности происходит так же, как и в долине Обихингоу. На самом деле оно может оказаться совсем иным. Иным может быть и изменение коэффициентов стока с высотой. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Если формулу (9), выражающую метод Паршина, записать в общем виде

$$w' = p(a_1\varphi_1w_1 + a_2\varphi_2w_2)^2 + a_2\varphi_2w_2 + a_3\varphi_3w_3 + a_4\varphi_4w_4 + a_5\varphi_5w_5 + a_6\varphi_6w_6, \quad (10)$$

где φ_i — площади высотных зон, a_i — переходные коэффициенты от наблюдаемых в долине Обихингоу величин w к таким же величинам на соответствующих высотах в бассейне Мургаба, то после введения указанных поправок она будет иметь следующий вид:

$$w' = p_1(b_1a_1\varphi_1w_1 + b_2a_2\varphi_2w_2)^2 + b_2a_2\varphi_2w_2 + \dots \quad (11)$$

Здесь b_i — коэффициент, учитывающий закон изменения снеготранспортировки с высотой коэффициента стока и прочих неучтенных Паршиным факторов. Вводя обозначение

$$c_i = b_i a_i \varphi_i, \quad (12)$$

последнюю формулу можно представить в виде

$$w' = p_1(c_1w_1 + c_2w_2)^2 + c_2w_2 + c_3w_3 + \dots \quad (13)$$

В этой формуле учтены все «физические» соображения Паршина и некоторые другие, т. е. формула (13) является обобщением метода Паршина. Формулу (9) получим, если положим, что

$$\begin{aligned} \sqrt{p_1}c_1 &= 0,0067, & \sqrt{p_1}c_2 &= 0,0066, & c_2 &= 0,039, & c_3 &= 0,038, \\ c_4 &= 0,044, & c_5 &= 0,033, & c_6 &= 0,091. \end{aligned} \quad (14)$$

Эти числа получены исходя из: 1) очень неточной гипсографии бассейна Мургаба; 2) очень неопределенной зависимости водности снега в долине Обихингоу от высоты местности, изображенной на рис. 14 а; 3) правомочности введения переходных коэффициентов a_i ; 4) необходимости введения поправки на более южное положение бассейна Мургаба и 5) некоторых представлений о высоте снеговой границы, вызвавших появление квадратичного члена в формуле.

Таблица 9

Многолетние данные о водности снежного покрова в долине Обихингоу

№ снегомерного пункта	Расстояние от нижнего снегомерного пункта	Высота, м	Водность снега, мм							
			средняя		наибольшая		наименьшая		амплитуда	
			в конце февраля	в конце марта	в конце февраля	в конце марта	в конце февраля	в конце марта	в конце февраля	в конце марта
1	0	1324	136	29	231	188	0	0	231	188
2	32	1529	186	74	306	345	0	0	306	345
3	65	1752	152	66	278	287	0	0	278	287
4	92	1901	152	102	273	268	53	0	220	268
5	112	2156	212	202	310	444	104	0	206	444
6	137	2418	116	90	203	201	45	0	158	201

После этого величину w' графически связывают со стоком Мургаба и среди эмпирических точек проводят плавную кривую. Проводится она наилучшим образом, т. е. так, чтобы быть ближе к эмпирическим точкам, без каких-либо или почти без каких-либо на то физических соображений. Если эта наилучшая линия связи окажется прямой

$$\tilde{Q} = kw' + l, \quad (15)$$

то в окончательном виде прогностическая формула будет следующей:

$$\tilde{Q} = kp_1(c_1w_1 + c_2w_2)^2 + kc_2w_2 + kc_3w_3 + kc_4w_4 + kc_5w_5 + kc_6w_6 + l,$$

или после замены

$$kp_1 = p_1', \quad kc_2 = c_2', \quad kc_3 = c_3', \dots,$$

$$\tilde{Q} = p_1'(c_1w_1 + c_2w_2)^2 + c_2'w_2 + c_3'w_3 + c_4'w_4 + c_5'w_5 + c_6'w_6 + l. \quad (16)$$

Здесь числа $p_1', c_1, c_2c_2', c_3', c_4', c_5', c_6', l$ — носят двойственный характер. С одной стороны, они получены исходя из «генетических, физических» соображений, а с другой, они чисто статистического происхождения. Принимая во внимание шаткость этих соображений и то, что многие из них, а возможно, и все они основаны на той же самой статистике, что и постоянные k и l , можно поставить задачу: числа $p_1', c_1', c_2' \dots$ найти прямо, без создания множества гипотез; подобрать их такими, чтобы формула (16) давала наилучшее приближение вычисленного стока $\tilde{Q}$ к наблюдаемому Q . Эту задачу можно, например, решить по способу наименьших квадратов или каким-либо другим. Не следует думать, что весь предварительный гидрологический анализ идет насмарку. От него берется форма связи (16), тогда как параметры подбираются чисто эмпирически — методами математической статистики. Гидрологический анализ приводит к форме связи, а статистический позволяет найти параметры этой связи, причем наилучшим образом. Получив эти параметры, можно обратным ходом перейти к коэффициентам стока, распределению снежного покрова по высотным зонам и прочим гидрологическим величинам, а от них и к представлениям о природе гидрологических явлений. Недостаток работы Паршина, а также многих других подобных работ состоит в том, что он пытался решить поставленную задачу целиком гидрологическим способом, обращаясь к методам математической статистики лишь на заключительном этапе, при построении связи Q и w , тогда как это нужно было сделать на более раннем этапе. Гидрологический анализ нужно направлять так, чтобы кратчайшим путем достигнуть результата, допускающего применение статистического анализа. Укорачивая гидрологическую часть пути, мы тем самым сокращаем число гипотез и, следовательно, ошибок. Конечно, чрезмерное сокращение гидрологической части может оказаться вредным, так как приведет к случайному результату. Однако последний можно оценить и исправить, снова перейдя на гидрологический анализ, включая анализ самого результата, который нужно рассматривать как предварительный.

Применить к формуле (16) принцип наименьших квадратов хотя и трудно, но принципиально возможно, например это можно сделать машинным способом путем подбора параметров. Решение задачи сильно упрощается, если отказаться от квадратичного члена, заменив его линейным выражением от w_i ($i=1, 2 \dots 6$) и тогда выражение (16) превращается в следующее:

$$w = d_1w_1 + d_2w_2 + d_3w_3 + d_4w_4 + d_5w_5 + d_6w_6, \quad (17)$$

где $d_1, d_2, \dots, d_6$ — параметры, найденные по принципу наилучшего при-

ближения, например по способу наименьших квадратов. Этот вопрос будет рассмотрен в дальнейшем, а пока вернемся к формуле (9).

Выше автор оспаривал целесообразность структуры этой формулы и выразил сомнение в правильности подбора коэффициентов при переменных. Чтобы подтвердить это, вычислим снегозапасы, рассматриваемые как аргумент в связи со стоком Мургаба, самым простым и обычным путем, взяв его как среднее из значений водности снега по всем шести снегомерным пунктам, т. е.

$$w = \frac{1}{6} (w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6). \quad (18)$$

Графически сопоставив величины w и w' [последняя определяется по формуле (9)], автор обнаружил между ними весьма тесную зависимость,

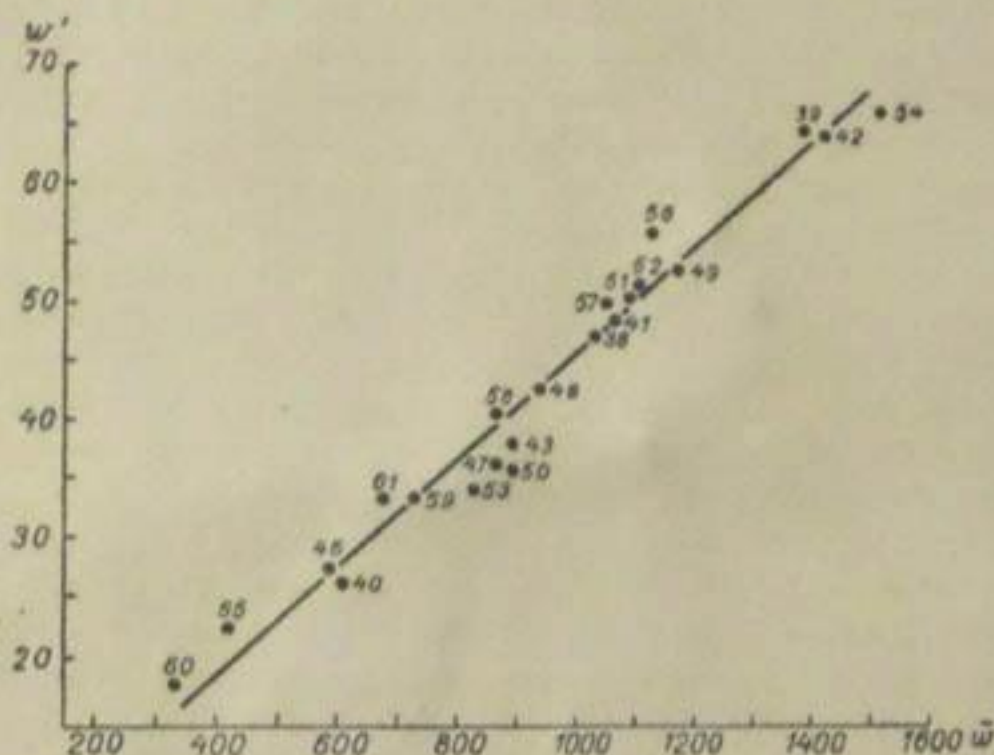


Рис. 15. Связь между водностью снега, вычисленной по методу Паршина (w'), и средней по шести снегомерным пунктам в долине р. Обихингоу (w).

которая говорит о том, что снегозапасы Паршина w' с точностью до постоянного слагаемого и постоянного множителя мало отличается от средней (по долине) водности снега w (рис. 15). Это же показывают и рис. 13 а и 13 б, где приведены связи стока Мургаба с w и w' . Так как связи на последних рисунках практически одинаковы, то для прогноза естественнее пользоваться связью стока с величиной $w = \frac{1}{6} (w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6)$ как более простой.

Связи, изображенные на рис. 13, довольно тесные, и теснота их с 1955 г., которым Паршин закончил свою работу, хотя и уменьшилась, но мало. Последнее обстоятельство заставляет надеяться, что эти связи не случайны.

Полутно отметим очень слабое влияние гипсографии на результат подсчета снегозапасов, так как вычисленные по одним и тем же исходным данным снегозапасы бассейнов Мургаба и Теджена оказались в почти функциональной зависимости друг с другом и, следовательно, в прогностических связях могут заменять друг друга без заметного изменения результата.

На этом заканчивается подробный разбор метода Паршина. Выказанные при этом общие положения представлялись настолько очевид-

ными и общеизвестными, что во всей своей предыдущей прогностической деятельности автор применял их без всяких оговорок. Гидрологические (физические, генетические, как их обычно называют) построения, подобные изложенным здесь построениям Паршина, автором обычно проделывались в уме, и результатом их в простейших случаях являлись принципы вроде того, что должна существовать линейная зависимость между стоком Мургаба и водностью снега на снегомерных пунктах в долине Обихингоу, а дальше уже вступал в действие статистический анализ, который и приводил к прогностическому результату.

Продолжим анализ устойчивости связей, изображенных на рис. 13.

Еще об устойчивости связей

Высокая теснота связей стока Мургаба с водностью снега в долине Обихингоу (см. рис. 13) кажется сомнительной из-за того, что связь не может быть тесной, если в аргумент ее не входят осадки марта и апреля, которые сильно влияют на сток Мургаба. Известны годы, когда Мургаб был многоводен только потому, что после 1 марта в его водосборе выпадало много осадков, о чем подробно будет сказано ниже. И как раз в эти годы в долине Обихингоу наблюдалось довольно много снега. Достаточность осадков по февраль для прогноза стока Мургаба в некоторой степени подтверждается только связью с осадками Душанбе за ноябрь—февраль (рис. 16 а). Осадки многих станций, в том числе станций Керки, Айвадж, Шахринау, Кушка, Тахта-Базар, Серахс, Мешхед и других, за ноябрь—февраль со стоком Мургаба дают лишь слабые связи, слабее, чем с осадками за ноябрь—март и ноябрь—апрель (рис. 17). Это также говорит не в пользу надежности связей на рис. 13. Чтобы объяснить довольно высокую тесноту этих связей, остается предположить, что или она случайна, или между средней водностью снега в долине Обихингоу в конце февраля и количеством осадков, выпадающих весной в водосборе Мургаба, существует тесная связь. Подобный случай рассмотрен в работе [8], в которой высокий коэффициент корреляции между стоком р. Чирчик за вегетационный период и водностью снега в долине р. Чаткал в конце января объяснялся высокой теснотой связи весенних осадков с указанной водностью снега, т. е. за рассмотренные семь лет [8] снежная зима как бы влекла за собой влажную весну. Позже подобное «влечение» исчезло. Применительно к долинам Обихингоу и Мургаба указанной закономерности не найдено: водность снега в конце февраля в долине Обихингоу не давала связи с последующими осадками в Душанбе и Кушке. Однако это не значит, что не может быть подобной связи с осадками, выпадающими где-то в высокогорной части водосбора Мургаба. Вообще же, отрицая случайность связей, приведенных на рис. 13, мы тем самым молчаливо предполагаем, что эти связи, в частности, выражают зависимость количества весенних осадков от водности снега в феврале: чем больше снега было в долине Обихингоу в конце февраля, тем больше осадков выпадает в бассейне Мургаба за март—май. Иначе, эти связи в скрытом виде выражают метод прогноза весенних осадков.

Существенное различие между двумя рассмотренными случаями состоит в том, что для Чирчика связь начала портиться по истечении всего семи лет, тогда как для Мургаба она просуществовала 20 лет. Однако, несмотря на это, все же нет уверенности в том, что связь для Мургаба сохранится и впредь, т. е. что не будет года, когда вместо ожидаемого многоводья наступит маловодье. Для такого предположения имеются основания. Так, в 1921 г. наблюдалось исключительное многоводье

в бассейнах Сыр-Дарьи и Аму-Дарьи, вызванное большими снегопадами в горах. Несомненно много снега было и в долине р. Обихингоу (тогда наблюдений в ее бассейне не было), вытянутой в направлении господствующих западных влагоносных ветров. Но р. Мургаб весной 1921 г. была маловодна, на ней почти не было половодья.

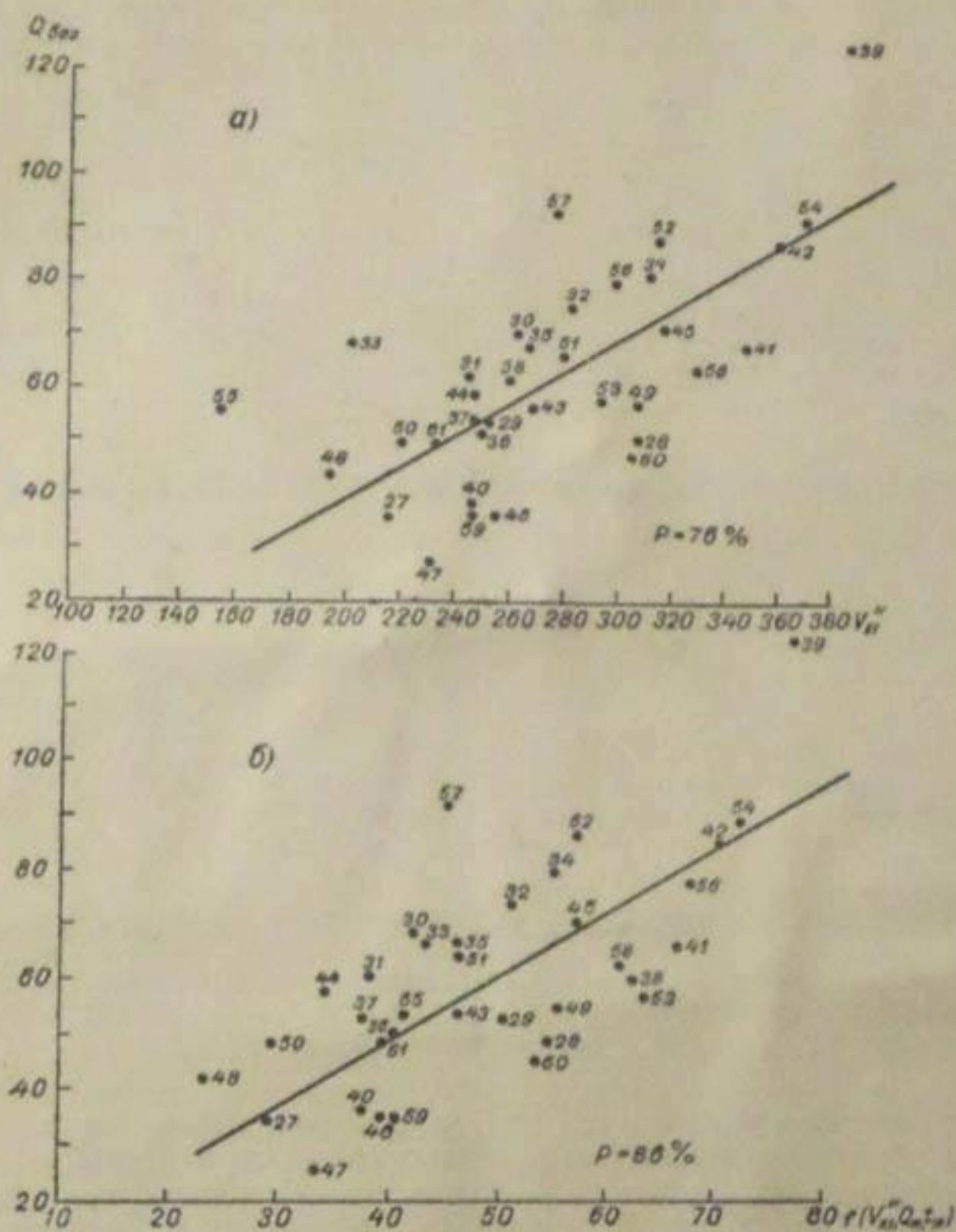


Рис. 16. Зависимость расходов Мургаба у Тахта-Базара за вегетационный период Q_{veg} от (а) количества осадков за ноябрь—февраль в Душанбе $v_{\text{II}}^{\text{II}}$ (б) и тех же осадков с поправкой на расход и температуру марта $f(v_{\text{II}}^{\text{II}}, Q_{\text{III}}, t_{\text{III}})$.

Уверенность в надежности связи стока Мургаба с водностью снега в долине Обихингоу отсутствует также и потому, что вода от таяния снега в долине Обихингоу не попадает в р. Мургаб и их водосборы находятся далеко друг от друга и притом в разных орографических условиях. Сомнение в надежности связей (см. рис. 13) основывается еще и на том, что снег в долине Обихингоу в значительной мере сходит в марте, тогда как половодье Мургаба наблюдается в апреле и мае. Об этом же гово-

рит отсутствие связи водности снега в долине Обихингоу со стоком самой р. Обихингоу.

Все эти сомнения заставляют считать связи, приведенные на рис. 13, сугубо эмпирическими, надежность, устойчивость которых может быть проверена только временем, т. е. путем накопления соответствующих наблюдений. Недостаток данных наблюдений над водностью снега для Обихингоу можно было бы восполнить восстановленными данными за

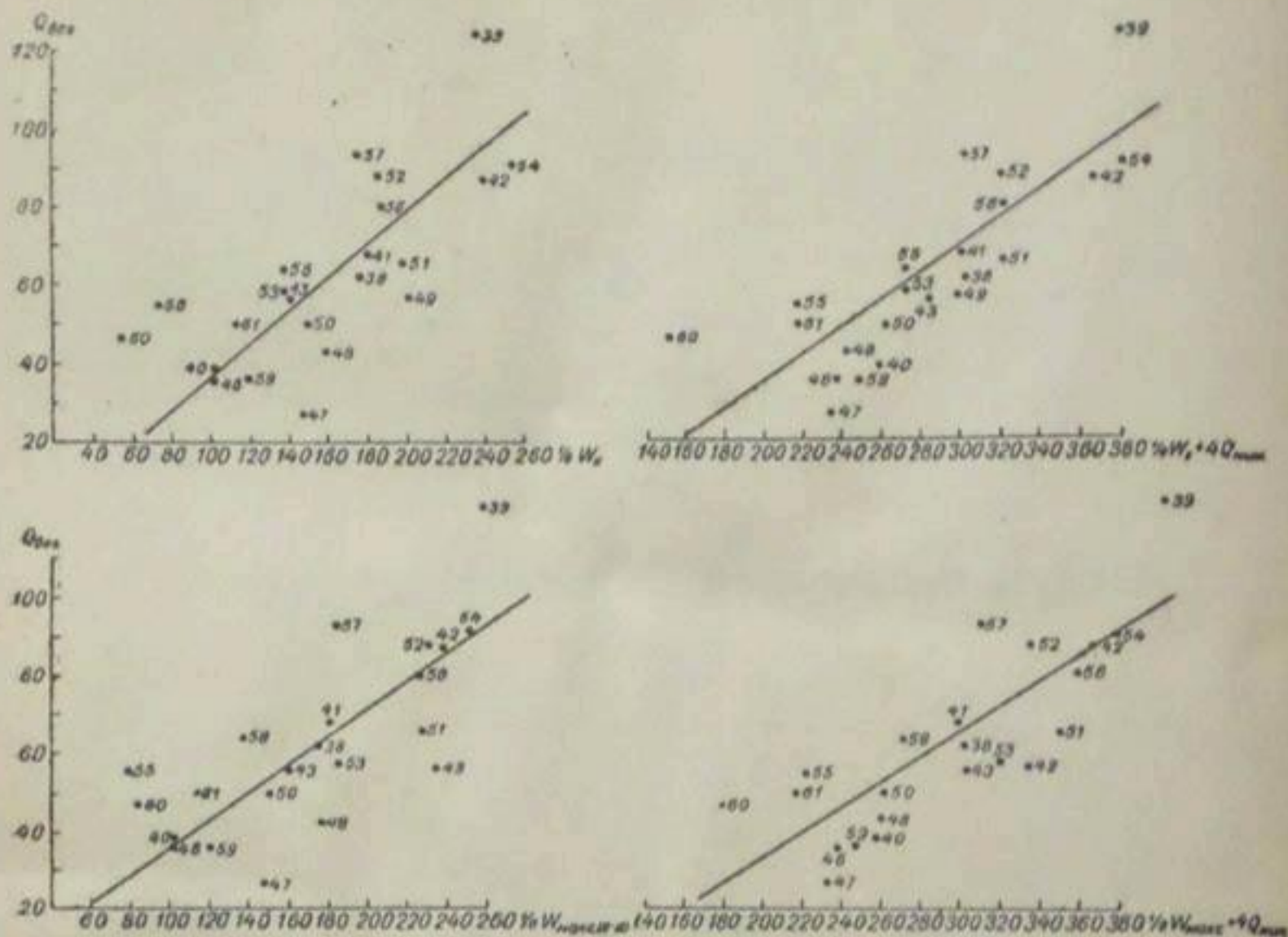


Рис. 17. Зависимость расходов Мургаба у Тахта-Базара за вегетационный период $Q_{\text{вег}}$ от водности снега в долине р. Обихингоу за февраль (w_{11}) и наибольшей за февраль и март $w_{\text{макс II-III}}$ с поправкой на зимний расход ($4Q_{\text{март}}$) и без нее.

прошлые годы при условии, что эта восстановительная связь сама является точной и надежной, но подобных связей не найдено.

Ранее говорилось о том, что на сток вегетационного периода сильно влияют осадки марта, апреля и мая. Это обстоятельство, в частности, подтверждается тем, что теснота связи стока рек Средней Азии с количеством осадков за октябрь—январь, октябрь—февраль, октябрь—март, октябрь—апрель и октябрь—май, как правило, возрастает в той же последовательности. Это правило применимо и к связям стока Мургаба с количеством осадков на станциях Кушка, Тахта-Базар и Керки (см. рис. 8, 9). Точно так же связь становится теснее после замены в ней водности снега для Обихингоу за февраль на водность за февраль—март (наибольшую). Применительно к осадкам станции Душанбе, как показано выше, это правило непригодно, так как наиболее тесную связь со стоком Мургаба дают осадки, взятые по февраль, а не по март и апрель, как этого следовало бы ожидать.

Связь стока Мургаба с осадками за ноябрь—февраль в Душанбе теснее, чем с осадками в Кушке (или Тахта-Базаре), но когда осадки бе-

ругся за октябрь—апрель, то станция Душанбе этого преимущества лишается. Надо полагать, что после накопления новых наблюдений указанное преимущество станции Душанбе исчезнет, как случайное.

Прогностические выводы

Итак, исследовав применявшиеся и применяющиеся методы составления прогнозов средних за вегетационный период расходов воды в Мургабе, автор пришел к выводу, что наиболее тесные связи со стоком за этот период дают: 1) осадки в Душанбе за ноябрь—февраль, исправленные на расход и температуру марта (см. рис. 16 б); 2) средняя водность снежного покрова по шести снегомерным пунктам долины р. Обихингоу (рис. 13 б), взятая на конец февраля и 3) та же водность, взятая как наибольшая из наблюдений в конце февраля и в конце марта. Этими связями и надлежит пользоваться при составлении прогнозов средних расходов вегетационного периода Мургаба у Тахта-Базара. Недостаток этих связей — отсутствие достаточной уверенности в их надежности.

Для прогноза на апрель—июль и апрель следует использовать аргументы перечисленных связей.

Для прогноза на май и последующие месяцы следует использовать связи предыдущих расходов с последующими. В качестве аргументов нужно брать расходы, осредненные не меньше чем за пятидневку. Пользоваться необходимо только прямыми связями, не допуская применения в качестве аргументов величин, предсказанных (вычисленных) по другим связям.

При составлении прогнозов особое внимание следует обращать на точность определения расходов воды по кривым расходов, которые должны время от времени подвергаться корректировке по вновь измеренным расходам.

Для Теджена следует построить связи с теми же аргументами, что и для Мургаба.

Оценка связей, которые могут быть применены для прогноза стока Мургаба за апрель—сентябрь и апрель—июль, приведена в табл. 10, которая показывает следующее:

1. Обеспеченность метода, т. е. относительное число ошибок, не превышающих пятую часть многолетней амплитуды, в лучших связях превышает 90%. Лучшими, как указывалось выше, являются связи стока с количеством осадков за ноябрь—февраль в Душанбе или с водностью снега на конец февраля в долине Обихингоу с учетом зимних и весенних расходов Мургаба и температуры воздуха за март.

2. Теснота связей указанных элементов со стоком заметно не меняется после замены стока за вегетационный период стоком за апрель—июль; имеющиеся изменения в обеспеченностях метода и в коэффициентах корреляции при переходе от расхода за апрель—сентябрь к расходу за апрель—июль можно считать случайными.

3. Коэффициенты корреляции (они вычислены приближенным способом) получились очень низкими. Очевидно, высокие обеспеченности метода для некоторых связей получились случайно.

4. Средние расходы воды за март, февраль и январь следует вводить в прогностические формулы в качестве показателей стоковой возможности бассейна, так как они заметно увеличивают тесноту связей стока с количеством осадков.

Оценка рекомендованных связей стока Мургаба у Тахта-Базара

Аргумент связи													
v_{XI-II}		$f(v, Q, t)$		$\frac{1}{6} w_{II}$		$\frac{1}{6} w_{II} + 4Q$		$\frac{1}{6} w_{\text{макс } II-III}$		$\frac{1}{6} w_{\text{макс}} + 4Q$		норма $Q_{\text{вер}}$	
абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%

Средний расход за вегетационный период (апрель — сентябрь)

Всего проверочных прогнозов . . .	35	100	35	100	22	100	22	100	22	100	22	100	35	100
из них с ошибками														
меньше 10% A	18	51	14	40	12	54	11	50	13	59	10	45	16	46
меньше 20% A	28	80	33	94	17	77	19	86	17	77	20	91	25	71
Средняя абсолютная ошибка, м ³ /сек.	11,5		11,4		13,3		11,6		11,4		11,5		15,0	
То же в долях среднего абсолютного отклонения = 15 м ³ /сек., θ . . .		0,77		0,76		0,89		0,77		0,76		0,77		1,00
Приближенное значение коэффициента корреляции $\rho = \sqrt{1 - \theta^2}$. .		0,64		0,65		0,46		0,64		0,65		0,64		0,00

Средний расход за апрель — июль

Всего проверочных прогнозов . . .	35	100	35	100	22	100	22	100	22	100	22	100	35	100
из них с ошибками														
меньше 10% A	21	60	17	49	12	55	11	50	12	55	9	41	18	52
меньше 20% A	29	83	32	92	17	77	19	86	16	73	19	86	26	74
Средняя абсолютная ошибка, м ³ /сек.	15,9		15,4		16,6		15,0		15,4		15,3		19,1	
То же в долях среднего абсолютного отклонения = 19,1 м ³ /сек., θ . . .		0,83		0,81		0,87		0,78		0,81		0,80		1,00
Приближенное значение коэффициента корреляции $\rho = \sqrt{1 - \theta^2}$. .		0,56		0,59		0,49		0,62		0,59		0,60		0,0

ЛИТЕРАТУРА

1. Давыдов Л. К. и Корженевский Н. Л. Влияние метеорологических факторов на режим р. Нарына. Труды Гидрометеорологич. отдела Ср.-Аз. метеорол. ин-та, т. 1, вып. 2, изд. Средазмета, Ташкент, 1929.
2. Джорджини З. В. Опыт долгосрочных прогнозов стока рек Средней Азии. Изд. САГУ, Ташкент, 1957.
3. Машуков П. М. Методика и практика гидропрогнозов по рекам Средней Азии. Метеорология и гидрология. № 1. 1936.
4. Машуков П. М. Основные методы гидрологических прогнозов, применяемые в Средней Азии. Сб. «Метеорология и гидрология в Узбекистане», изд. АН УзССР, Ташкент, 1955.
5. Машуков П. М. Служба гидрологических прогнозов и информации. Юбилейное информационное письмо № 7. Развитие гидрометеорологической службы Узбекистана за 40 лет Советской власти. Изд. УГМС УзССР, 1957 г.
6. Машуков П. М. О некоторых ошибках в литературе по гидрологическим прогнозам, Изв. АН УзССР, серия техн. наук № 3, 1960.
7. Машуков П. М. Анализ и прогноз стока рек бассейнов Сурхан-Дарьи и Кашка-Дарьи за вегетационный период (апрель—сентябрь). Труды САНИГМИ, вып. 3(18), 1960.
8. Машуков П. М. и Тикунова В. В. Анализ и прогноз сезонного стока рек, стекающих с хребтов Западного Тянь-Шаня. Труды САНИГМИ, вып. 7(22), 1961.
9. Машуков П. М. и Мурза Л. М. Центр половодья горных рек Средней Азии. Труды САНИГМИ, вып. 7(22), 1961.
10. Ольдекоп Э. М. К вопросу о прогнозе расходов рек в Туркестане. Бюллетень Гидрометрич. части в Туркестанском крае № 1—3, Ташкент, 1917.
11. Ольдекоп Э. М. Зависимость режима р. Чирчика от метеорологических факторов. Труды Метеорол. отд. Гидрометрич. части в Туркестанском крае, вып. 89, Ташкент, 1918.
12. Пастухова Г. Ф. Опыт долгосрочного прогноза половодья с использованием индексов атмосферной циркуляции. Метеорология и гидрология, № 2, 1961.
13. Паршин В. Н. Долгосрочный прогноз водности рек Теджена и Мургаба. Труды ЦИП, вып. 62, 1957.
14. Шульц В. Л. Реки Средней Азии. Географгиз, М., 1949.
15. Шульц В. Л. Гидрография Средней Азии. Изд. САГУ, Ташкент, 1958.
16. Clayton H. World weather records. Published by the Smithsonian Institution. City of Washington, 1927, 1934.
17. World weather Records, 1941—1950. Washington, D. C. 1959, USA.

СОДЕРЖАНИЕ

П. М. Машуков. Анализ методов гидрологических прогнозов, основанных на вычислении запасов снега в горах	3
И. А. Ильин. Ледники бассейна реки Аксу (левого притока Сыр-Дарьи)	59
Н. К. Лукина и А. А. Раззаков. Долгосрочный прогноз средних расхо- дов воды за вегетационный период в реках, стекающих с юго-западного склона Ферганского хребта	74
Е. И. Гирник. Учет разбора воды на орошение из р. Сыр-Дарьи при со- ставлении гидрологических прогнозов	84
П. М. Машуков. Долгосрочные прогнозы стока Мургаба и Теджена	90

Редактор *Л. А. Чепелкина*

Техн. редактор *М. И. Брайнина*

Корректоры: *Н. И. Оршер* и *Т. С. Полтавец*

Сдано в набор 10/IX 1963 г. Подписано к печати 17/I 1964 г. Бумага $70 \times 108^{1/16}$. Бум. л. 4,38+2 вкл. Печ. л. 10,58. Уч.-изд. л. 12,1. Тираж 500 экз. М-15040. Индекс ГЛ-34. Гидрометеорологическое издательство. Ленинград. В-53, 2-я линия, д. № 23.

Тематический план 1964 г., № 96.

Заказ № 579.

Цена 85 коп.

Ленинградская типография № 8

«Главполиграфпрома»

Государственного комитета Совета Министров
СССР по печати.

Ленинград, Прачечный пер., 6

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО**

Отдел распространения

Ленинград, В-53, 2-я линия, д. 23

В 1964 ГОДУ ВЫЙДУТ ИЗ ПЕЧАТИ

Великанов М. А., д-р техн. наук, проф., член-кор. АН СССР, заслуж. деятель науки и техники.

Гидрология суши (5-е издание, переработанное и дополненное). Учебник для вузов. 29 л. 1 р. 16 к. в перепл.

Шмидт С. В. Техника безопасности при гидрологических работах. Учебное пособие для студентов гидрометеорологических вузов, госуниверситетов и для работников гидрологической сети. 15 л. 68 к. в перепл.

Книги по выходе в свет магазины местных книготоргов и потребкооперации продают в первую очередь по предварительным заказам. Покупатели, которые в конце 1963 года не сделали таких заказов по тематическому плану Гидрометеопроиздателя на 1964 год, должны обратиться в магазин № 17 «Ленкниги», который принимает заказы в течение всего года. Гарантируется выполнение заказов, поступивших в магазин до 1 марта 1964 года.

*Книги высылаются наложенным платежом без задатка.
Адрес магазина: Ленинград, В-178, Средний проспект, д. 45.*

ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ