

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

551

С-75

47672

ТРУДЫ

ВЫПУСК 45 (60)

П. М. МАШУКОВ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ
УСЛОВИЯ ЗИМНИХ НАВОДНЕНИЙ
НА р. СЫРДАРЬЕ



ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ

ЛЕНИНГРАД • 1969

51
-75

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ТРУДЫ

ВЫПУСК 45 (60)

П. М. МАШУКОВ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ
УСЛОВИЯ ЗИМНИХ НАВОДНЕНИЙ
НА р. СЫРДАРЬЕ

Под редакцией
канд. геогр. наук
И. А. ИЛЬИНА
и канд. техн. наук
Ю. Д. МОСКАЛЕВА



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛЕНИНГРАД • 1969

Рассматриваются уровни и расходы воды в р. Сырдарье, движение кромки льда, перераспределение водных масс в русле этой реки, связанное с ледовыми явлениями, заторы, зажоры, разливы, наводнения, связи указанных элементов друг с другом и с погодой, с попусками из Чардаринского водохранилища.

Работа рассчитана на гидротехников и гидрологов, эксплуатационников, проектировщиков и прогнозистов.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В р. Сырдарье, как и в р. Амударье, уровень воды держится высоким от начала ее замерзания до вскрытия. В связи с этим высший (за год) уровень воды чаще всего бывает зимой, а не летом (во время половодья). Так, на Сырдарье у г. Казалинска (рис. 1) высший зимний уровень превышал высший летний в 95%, а у Тюмень-Арыка — в 55% лет наблюдений. В низовьях обеих рек их русла несколько приподняты над окружающей местностью, поэтому их выход из берегов нередко сопровождается затоплением населенных пунктов, разрушением транспортных магистралей и других сооружений. Для защиты от наводнений объекты, подверженные затоплению, отгорожены от этих рек дамбами, которые нередко прорываются. На Сырдарье почти каждую зиму имели место выходы воды из берегов, из которых в среднем 7 случаев сопровождалось какими-либо вредными последствиями. Считалось, что опасность выхода реки из берегов тем выше, чем больше расход воды в ней, и что при достаточно малых расходах наводнений не бывает или почти не бывает. Далее предполагалось, что расход воды в любом пункте реки в зимнее время может быть продиктован заранее с помощью регулирования попусков на плотине Чардаринской ГЭС, так как приточность реки ниже с. Чардары мала. В проекте эксплуатации этой ГЭС в качестве критических были приняты некоторые определенные расходы в нижнем бьефе водохранилища: большие для периода ледостава и меньшие для периода вскрытия. Предполагалось, что при расходах больших критических в низовьях реки должна возникать опасность выхода реки из берегов и наводнений.

Столь простое и категоричное решение вопроса о возможности наводнений в сложных условиях низовой Сырдарьи вызывало сомнение, и поэтому нам было поручено провести дополнительное исследование и на основе его результатов дать соответствующие рекомендации о размерах попусков из Чардаринского водохранилища, исключающих затопление низовьев Сырдарьи в результате ледяных заторов и зажоров.

На основе многолетнего опыта по оценке ледовых ситуации на реках Амударье и Сырдарье и их предсказанию было принято

решение о необходимости детального изучения зимнего режима Сырдарьи, так как имеющихся данных о нем было недостаточно для составления необходимых рекомендаций. Результаты этого изучения и изложены в настоящей работе.



Рис. 1. Схема расположения постов на р. Сырдарье.
1 — посты, учитывающие сток воды, 2 — посты уровенные.

Исследованиям ледовых явлений в низовье Сырдарьи посвящено много работ, из которых следует особо отметить работу В. П. Захарова [4], имеющую обзорный характер.

Пользуюсь случаем, чтобы поблагодарить инженеров И. В. Когтеву, З. А. Листровую и Д. Х. Салихову и техников З. П. Бакастову и Е. Е. Найгаф, участвовавших в составлении научного отчета по проведенным исследованиям.

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе рассматривается только нижнее течение р. Сырдарьи (на территории Казахстана, от гидрологического поста Кок-Булака до устья) протяжением более 1700 км. Здесь река протекает по безводной местности, принимая справа лишь один маловодный приток — р. Арысь. С хребта Каратау к Сырдарье стекает ряд малых рек, но они свои воды до нее не доносят, по крайней мере нет достоверных сведений о сколько-нибудь существенном влиянии этих рек на сток Сырдарьи в зимнее время (до вскрытия реки). Весь водосбор Сырдарьи находится высоко в горах и характеризуется более холодным и влажным климатом, чем климат в низовьях реки. Это прежде всего означает, что ни выпадение дождей, ни таяние снега на равнине не вызывают прибыли воды в реке. Иначе говоря, местная погода почти не влияет на количество воды в реке.

Вода, поступающая из водосбора, ранее учитывалась на посту Кок-Булаке, теперь этот учет ведется на посту нижний бьеф Чардаринского водохранилища (пост Чардара). Поступление воды из р. Арыси не учитывается, но некоторое представление о нем могут дать расходы воды на посту у с. Шаульдер (водокачка ж.-д. ст. Тимур), находящемся на р. Арыси в 25 км от устья. Для сравнения приводим многолетние средние месячные расходы ($\text{м}^3/\text{сек.}$):

	XI	XII	I	II	III
р. Сырдарья (Кок-Булак) . .	560	539	510	515	600
р. Арысь (Шаульдер) . . .	34	40	48	54	79

Замерзание и вскрытие Сырдарьи происходит при небольших меженных расходах воды при движении кромки льда сначала вверх, а потом вниз по течению при кратковременном весеннем ледоходе.

Как это видно из сравнения многолетних средних месячных значений температуры воздуха (табл. 1), температура воздуха на различных участках реки различна [17, 18].

Это различие в температуре воздуха приводит к тому, что река замерзает снизу, а вскрывается сверху. То же можно сказать

Пост	Расстояние от устья реки, км	Температура, град.				
		XI	XII	I	II	III
Чиназ	1670	4,9	—0,3	—2,9	0,5	7,3
Чардара	1525	3,7	—1,6	—4,0	—0,1	6,4
Байракум	1390	2,8	—2,6	—4,8	—1,3	5,6
Ак-Кум	1040	1,7	—4,3	—6,8	—3,1	4,5
Чиили	900	0,9	—5,2	—7,2	—4,8	3,0
Кзыл-Орда	654	—0,1	—6,6	—9,3	—7,3	0,8
Джусалы	420	—1,2	—8,2	—11,5	—9,7	—1,1
Казалинск	147	—0,9	—7,8	—11,3	—9,8	—1,8

и о шуге, которая появляется сначала в низовьях, а затем распространяется вверх по реке.

В соответствии с температурой воздуха река у Казалинска замерзает ежегодно, а у Кок-Булака сравнительно редко. Кромка льда зимой обычно находится на первых 500 км, считая вниз от Чардары, совершая движение вверх при похолоданиях и вниз при потеплениях.

Осадков в низовьях реки выпадает мало (56 мм в Кзыл-Орде за ноябрь — март).

Снежный покров на льду бывает настолько тонок, что с самолета просматривается структура льда. Благодаря этому и суровой зиме ледяной покров достигает сравнительно большой толщины (до 120 см в Кзыл-Орде и Казалинске). В этом отношении Сырдарья не уступает рекам гораздо более северных широт Европейской территории СССР.

В дальнейшем для краткости изложения зимой будем называть весь период от появления до исчезновения льда на реке. Этот период у Казалинска начинается в среднем в третьей декаде ноября и заканчивается в первой декаде апреля; однако случалось, что осенний шугоход начинался 1 ноября, а весенний ледоход заканчивался 14 апреля [12].

Продолжительность ледостава колеблется в Тюмень-Арыке (972 км от устья) от 0 до 116 суток и в среднем достигает 60 суток, в Кзыл-Орде (654 км) эти числа составляют соответственно 35, 126, 87 суток, у поста Кармакчи (420 км) — 67, 129, 104 суток и у Казалинска (147 км) — 44, 139, 110 суток [12].

Взамен обычных географических координат для обозначения места наблюдений нами приняты расстояния от устья реки в километрах. Для этой цели по руслу реки на бланковых картах были сделаны отметки через каждые 10 км. Расстояния от устья до гидрологических постов были взяты из гидрологических ежегодников

Список гидрологических постов с указанием их расстояний от устья и нулей графика в Балтийской системе высот (БС)

Пост	Расстояние от устья, км			Нули графика, м	
	по гидрологическим ежегодникам до 1951 г.	по гидрологическим ежегодникам 1952—1963 гг.	по гидрологическому справочнику	до 1961 г.	с 1962 г.
пос. Надеждинский	(1734)	1802	1812	263,00	263,00
с. Чиназ	1671	(1735)	1749	253,00	253,00
кишл. Кок-Булак	1640	1708	1723	248,16	
нижний бьеф Чардаринского водохранилища (ГМС Чардара)	(1525)	1593	1633	230,00	230,00
свх Байракум	(1392)	1477	1509	208,78	208,78
ж.-д. ст. Утрабат	(1245)	1334	1347	188,00*	188,09
ж.-д. ст. Ак-Кум	(1042)	1110	(1140)		
ж.-д. ст. Тюмень-Арык	972	1042	996	157,74	156,00
рзд Кергельмес	(736)	792	804		130,89
в 12 км выше г. Кызыл-Орда	666	722	734	125,00*	
г. Кызыл-Орда	654	706	718	123,87	122,00
ж.-д. ст. Караозек (Кара-Узьяк), река	621	676	684	121,89	118,00
ж.-д. ст. Караозек (Кара-Узьяк), проток	116	182	187	121,68	118,00
с. Джусалы (Кармакчи), река	420	450	496	97,13*	
с. Джусалы (Кармакчи), проток	0,8	0,8	0,8	97,08	94,95
ж.-д. ст. Майлыбас (Майлибаш)	(206)	237	241	70,15	70,15
г. Казалинск	147	178	181	64,56	62,00
с. Карлан	(120)	148	156		56,66

Примечания: 1. Часть расстояний получена интерполяцией (в скобках).
2. Пост Кармакчи на реке перенесен на 1,8 км ниже и теперь находится в 300 м ниже устья протоки Кара-Узьяк (с 15 февраля 1961 г.).

3. Часть высот нулей графика дана в системе абсолютных высот, отмечаемых в гидрологических ежегодниках знаком «абс.». Здесь они помечены звездочкой (*).

за 50-е годы. Разметка карты на участках реки между постами была выполнена В. А. Архиповым путем интерполяции.

Позднее Гидрометслужбой были сделаны еще два определения расстояний гидрологических постов от устья в связи с выпуском новых уточненных карт, так что каждый гидрологический пост сейчас имеет три расстояния от устья. Первое расстояние значится в гидрологических ежегодниках по 1951 г. включительно, второе — с 1952 г. по 1963 г. включительно и третье — с 1964 г. Последняя система расстояний была установлена при составлении гидрологического справочника, носящего официальное название «Ресурсы поверхностных вод СССР» [12].

Так как первая система расстояний применялась в многочисленных работах, выполненных ранее и включавших в себя такие документы, как карты ледовых авиаразведок, календари ледовых явлений, то она и была принята в настоящей работе.

Эти системы (табл. 2) существенно различаются. Например, расстояние от устья до поста Кок-Булак в первой системе (до 1951 г.) определено в 1640 км, во второй (1952—1963 гг.) — в 1708 км и в третьей (с 1964 г.) — в 1723 км; для поста Тюмень-Арык эти расстояния соответственно равны 972, 1042 и 996 км и т. д. Судя по данным табл. 2, устье реки все дальше продвигается в море, а сама река становится будто бы все более извилистой.

Сведения об уровне воды по всем постам даются в сантиметрах над нулями графика, принятыми в гидрологических ежегодниках за 1961 г. и более ранние годы. Уровни за 1962 г., когда было произведено изменение нулей графика, и за более поздние годы были пересчитаны в прежние системы отметок (табл. 2).

В работе использованы данные об уровне воды на всех постах, включенных в [15, 16] и в гидрологические ежегодники, но выводы относятся только к шести постам, имеющим длительные наблюдения и названных нами основными: Кок-Булак, Тюмень-Арык, Кзыл-Орда (у города), Кара-Узяк (на реке и протоке), Кармакчи (на реке и протоке), Казалинск.

Ряды расходов на посту Чардара (нижний бьеф) принимаются как продолжение рядов поста Кок-Булак без всяких поправок. Уровни у поста Чардара за последние годы пересчитаны в уровни поста Кок-Булак, и поэтому оба поста принимаются за один пост.

ВЫСШИЙ УРОВЕНЬ ВОДЫ В р. СЫРДАРЬЕ ЗИМОЙ

На р. Сырдарье, как и на Амударье [8, 9, 10], с наступлением в створе поста (или несколько ниже его) ледостава уровень воды на посту повышается и держится относительно высоким до вскрытия, совершая в течение зимы иногда довольно значительные колебания (см. рис. 9).

Колебания уровня воды на посту вызываются главным образом двумя причинами: изменением степени стеснения русла в районе поста и изменением расхода воды в реке выше поста. Если стеснение русла (например, зажорное) будет оставаться неизменным, то уровень воды будет следовать изменениям расхода воды. При этом будет иметь место зависимость $Q=f(H)$, т. е. кривая расходов. Чаще же всего степень стеснения русла не остается неизменной, свидетелем чего является исчезновение связи между расходом и уровнем при ледоставе. При неизменном расходе воды можно было бы ожидать аналогичную связь уровня со степенью стесненности русла. Однако получить такую связь нельзя из-за отсутствия измерений последней величины, так как для нее даже не имеется определения. О стесненности русла ледовыми образованиями судят по величине и изменению уровня воды, особенно по высоте высшего уровня на посту. Высший уровень воды, на наш взгляд, мог бы быть хорошей характеристикой стесненности русла, в частности при заторах льда, если бы заторы всегда образовывались в одном и том же месте и притом несколько ниже поста, чего на самом деле не бывает.

Высший уровень на посту представляет наибольший интерес как мера степени опасности наводнений, но опять таки в районе поста; два одинаковых по мощности затора, случившиеся один ниже, другой выше поста, один ближе, другой дальше от поста, вызовут разное повышение уровня на посту.

Однако практика показывает, что высший уровень на посту обычно является довольно хорошей характеристикой стесненности русла и степени опасности наводнений или мощности заторов (зажоров) и им часто пользуются. В последнем качестве [14, 19]

применяют обычно не сам высший уровень $H^{(в)}$, а его превышение $H^{(в)} - H^{(о)}$ над предшествующим низким уровнем $H^{(о)}$. Некоторые исследователи [6] предпочитают иметь дело с абсолютной величиной высшего уровня $H^{(в)}$, к чему склоняемся и мы, считая, что следует использовать ту величину, которая является предметом наших исследований, а не с комбинацией ее с другими величинами. В данном случае такой величиной является высший уровень, так как именно им определяется выход реки из берегов, а не превышением его над каким-то другим переменным уровнем, часто мало репрезентативным и неопределенным.

1. Характеристика материалов наблюдений над уровнем воды

Во время замерзания и особенно вскрытия реки уровень воды сильно и быстро колеблется, обычно достигая высших в году и из-за этого наиболее опасных значений. Для определения высшего уровня обычных двухсрочных наблюдений в такие периоды бывает недостаточно, поэтому предусматриваются учащенные наблюдения, которые однако не всегда выполняются.

В данной работе были исследованы результаты многосрочных наблюдений на восьми гидрологических постах Сырдарьи в общей сложности за 96 зим: по 10—12 зим на пост (в Кзыл-Орде — 20). Число наблюдений в одни зимы не превышало 2—3 раза в сутки (графа 5 табл. 3), зато в другие оно достигало 20 и больше. Особенно частые наблюдения велись у городов Кзыл-Орды (до 29 раз в сутки) и Казалинска (до 22 раз). В наиболее ответственные моменты наблюдения над уровнем здесь проводились через каждые полчаса.

Чаще всего высший (за зиму) уровень имел место в период многосрочных наблюдений, но было довольно много зим, когда он наблюдался вне этого периода (графы 4 и 6 табл. 3). Так как на посту Кармакчах только в 2 зимы из 12 максимальный уровень Сырдарьи был охвачен многосрочными наблюдениями, на посту г. Кзыл-Орды таких зим было 15 из 20, а в Казалинске 7 из 9 и т. д.

Высший уровень, полученный из дополнительных наблюдений, иногда оказывался существенно выше, чем при обычных наблюдениях (в 8 и 20 ч.). Так на посту Тюмень-Арыке внесрочный уровень был выше срочного в одном случае на 86 см (на 40% амплитуды колебаний высшего уровня), а в Казалинске — на 41 см (на 70% амплитуды).

В некоторых случаях результаты многосрочных наблюдений над уровнем утеряны, тогда высшие уровни приходится выбирать из средних суточных величин. Об ошибках, которые при этом получаются, дает представление графа 8 табл. 3, в которой показаны три наибольших отклонения срочных данных от средних суточных. Те и другие выбраны из наивысших за зиму уровней независимо

Некоторые характеристики результатов внесрочных наблюдений над уровнем воды

Пост	Годы	Наибольшее число наблюдений в сутки	Общее число зим	Число зим с наблюдениями 4 и больше раз в сутки	Число зим с наблюдениями при высшем уровне	Три наибольшие разности между высшим за сутки уровнем и уровнями		Наибольшее изменение уровня между ближайшими наблюдениями			Рост (р), падение (п)
						ближайшим срочным	средним суточным	ΔH	Δt	$\frac{\Delta H}{\Delta t}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ж.-д. ст. Тюмень-Арык	1948—1959	19	11	7	6	14, 14, 9	39, 31, 29	24	7	3	р
г. Кызыл-Орда, в 12 км выше города	1946—1954	10	8	6	5	33, 13, 11	36, 21, 20	33	3	11	п
г. Кызыл-Орда	1939—1959	29	20	16	15	86, 70, 58	91, 52, 28	49	12	4	р
ж.-д. ст. Кара-Узяк, река	1949—1960	12	12	12	7	25, 25, 22	71, 51, 38	135	12	11	п
ж.-д. ст. Кара-Узяк, проток	1948—1959	13	11	11	8	26, 25, 22	74, 47, 47	140	12	12	п
с. Кармакчи, река	1947—1959	8	12	9	2	34, 17, 11	20, 17, 11	32	4	8	п
с. Кармакчи, проток	1946—1959	12	13	12	9	13, 10, 7	20, 17, 15	24	2	12	п
г. Казалинск	1948—1957	22	9	9	7	41, 17, 17	53, 25, 24	71	4	18	р

от даты их наступления. На посту у г. Кзыл-Орды, например, эти отклонения составили 91, 52 и 28, а в Казалинске — 53, 25 и 24 см.

По регулярности и полноте многосрочных наблюдений над уровнем и тем самым правильности получения высшего уровня следует различать три периода: до 1929 г., с 1929 по 1941 г. и с 1941 г. Наиболее регулярны были наблюдения в последний период. В первый период высшие уровни, как правило, выводились из средних суточных. Поэтому они, видимо, более занижены, чем в другие периоды. Это видно из того, что в те годы разница между средним суточным и срочным уровнем систематически отсутствует, а там, где она имеется, представляет малую величину, обычно меньше 5 см. Кроме того, в [15, 16] сказано, что «Крайние месячные уровни, как правило, выбраны из ежедневных» (точнее, средних суточных). Максимальный месячный уровень выбирался из срочных и внесрочных наблюдений, «где это представлялось возможным», т. е. лишь тогда, когда этот уровень являлся наивысшим и за год.

После 1929 г. разница между «истинным» высшим уровнем и высшим средним суточным уровнем, как и в 50-е годы, часто превышает 20 см, достигая в отдельные годы 1 м и более. Вниз по течению реки эта разница в среднем уменьшается (табл. 4). Она растет

Таблица 4

Средние и наибольшие разности между наибольшими из многосрочных и средних суточных уровней р. Сырдарьи в холодную половину года, см

Период	Тюмень-Арык	Кзыл-Орда		Кара-Узьяк		Кармакчи		Казалинск	Среднее
		выше города	город	река	проток	река	проток		
Наибольшая разность									
1913—1928	6	—	—	3	2	—	20	19	8
1928—1941	23	—	22	27	34	13	11	46	20
1941—1962	44	36	99	125	74	26	20	53	31
Средняя разность									
1913—1928	0	—	—	0	0	6	3	3	2
1928—1941	8	—	8	9	13	4	4	10	8
1941—1962	16	15	18	24	22	8	8	12	15

от первого периода ко второму и третьему. Так средняя разность в первый период (1913—1928 гг.) составила всего 2 см, во второй (1928—1941 гг.) — 8 см и в третий (1941—1962 гг.) — 15 см. Средние из наибольших разностей составили соответственно 8, 20 и 31 см. Причину такого изменения средней разности по периодам нужно искать в увеличении регулярности и объема многосрочных наблюдений. Если в первый период наибольший уровень большей частью выбирался из его средних суточных значений, а во втором — из

двух-трех срочных наблюдений, то в третьем периоде было использовано большое количество внесрочных наблюдений. Отклонения срочных данных об уровне от средних суточных особенно велики для поста Кара-Узяк (22—24 см) и малы для поста Кармакчей (8 см). Из сказанного выше вытекает необходимость многосрочных наблюдений над уровнем при замерзании и вскрытии реки.

Основой для настоящего исследования послужили составленные нами таблицы высших месячных уровней за время с ноября по март, причем к марту иногда относили и часть апреля. Последнее случилось, когда вскрытие происходило в апреле или когда в этом месяце еще держался высокий подпорный уровень, связанный со вскрытием реки, которое произошло в конце марта. Значения высшего уровня брались из «подвалов» годовых таблиц ежедневных уровней, помещенных в гидрологических ежегодниках, а их даты, которые в ежегодниках не приводятся, находились в этих же таблицах как даты высшего среднего суточного уровня.

В таблицах показаны также ледовая фаза, при которой наблюдался высший уровень в данном месяце, и дата первого или последнего дня с ледоставом (которая была ближе к дате наибольшего уровня).

При характеристике состояния реки выделялось четыре фазы: чисто (ч), замерзание (з), ледостав (л) и вскрытие (в).

Под фазой «чисто» понималось такое состояние реки, при котором уровень воды был безподпорный, а это случалось как на реке, свободной от льда, так и при шугоходе и ледоходе.

Замерзанием называлось такое состояние реки, при котором процесс замерзания вблизи поста создавал переменный подпор, влияющий на показания постовой рейки. Высший уровень в фазу замерзания может наступить как позже, так и раньше первого дня с ледоставом. Аналогичным образом определялась и фаза «вскрытие».

Фаза «ледостав» означала наличие ледяного покрова на реке в створе поста или хотя бы вблизи его, когда подпор был постоянным или медленно меняющимся, а уровень воды на посту менялся в зависимости от причин, действовавших далеко выше поста.

Точных признаков, по которым можно было бы отнести наивысший уровень воды в той или иной фазе, установлено не было, поэтому фаза, в которой находилась река в период стояния наивысшего уровня, определялась приближенно по указанным выше правилам.

Под термином «вблизи поста» подразумевался такой участок реки выше и ниже поста, ледовые процессы на котором еще заметно сказываются на уровне воды в створе поста.

Указанная трактовка терминов отличается от трактовки, принятой при составлении гидрологических ежегодников и гидрологического справочника [12]. Так под термином «вскрытие» мы понимаем процесс, развертывающийся в районе поста (а не только строго на самом посту), охватывающий последние дни ледостава и первые дни ледохода и сопровождающийся характерными для него

явлениями подвижек, повышения уровня воды, ледохода, заторов льда. Составители же гидрологического справочника рассматривали явления, наблюдающиеся только на данном посту, и различали только понятия ледостава и весеннего ледохода, из которых первый мгновенно переходит во второй.

Из таблиц высших месячных уровней были составлены таблицы высших уровней по периодам ноябрь — декабрь, ноябрь — январь, ноябрь — февраль и ноябрь — март (апрель) по той же форме, что и месячные таблицы.

Разбивка зимы на месяцы, а потом на упомянутые периоды, кроме простоты, была полезна еще с практической точки зрения, так как составление прогнозов и проведение хозяйственных мероприятий обычно приурочивается к календарным срокам.

2. Многолетние данные о высшем уровне

В 50-е и 60-е годы высший уровень был наиболее высоким на всех основных постах (кроме Кок-Булака) (рис. 2), что может быть объяснено следующими причинами:

- а) более частыми наблюдениями за уровнем в последние годы;
- б) особыми зимними гидрометеорологическими условиями;
- в) в эти зимы естественный разлив реки при заторах в районе постов был затруднен искусственно дамбами в большей мере, чем в другие годы (например, дамбы обвалования находились в лучшем состоянии или же прорывы дамб быстрее заделывались);
- г) в эти зимы регулярно велась борьба с заторами путем взрывания льда, которая, по идее, должна была уменьшить заторный уровень, а на самом деле приводила к обратным результатам.¹

В зимы, когда были пропуски в наблюдениях над уровнем (обычно это вызывалось повреждениями постов), высший уровень из имеющихся наблюдений, казалось, должен быть заниженным, так как наблюдения прекращались в связи с разрушением постовой рейки, что бывает обычно при возрастании уровня. Однако при сопоставлении с наблюдениями на других постах не было обнаружено, чтобы этот заниженный уровень был относительно низким. Можно думать, что либо имеющиеся уровни достаточно хорошо характеризуют высший уровень либо повреждение поста наступало тогда, когда уровень достигал достаточно большой величины и был зарегистрирован. Поэтому при расчете обеспеченности высших уровней не следует выбрасывать эти случаи.

¹ В подтверждение можно сослаться на статью В. П. Захарова и О. П. Чижова [5], где они пишут: «Весной 1954 г. ...взрывные работы проводились в весьма большом объеме, особенно в районе Кзыл-Орды. Принятые меры, по-видимому, не были безрезультатны. Механическое разрушение льда ускорялось, ледоход усиливался и подъем уровня воды (например, у Кзыл-Орды и Казалинска) был искусственно повышен».

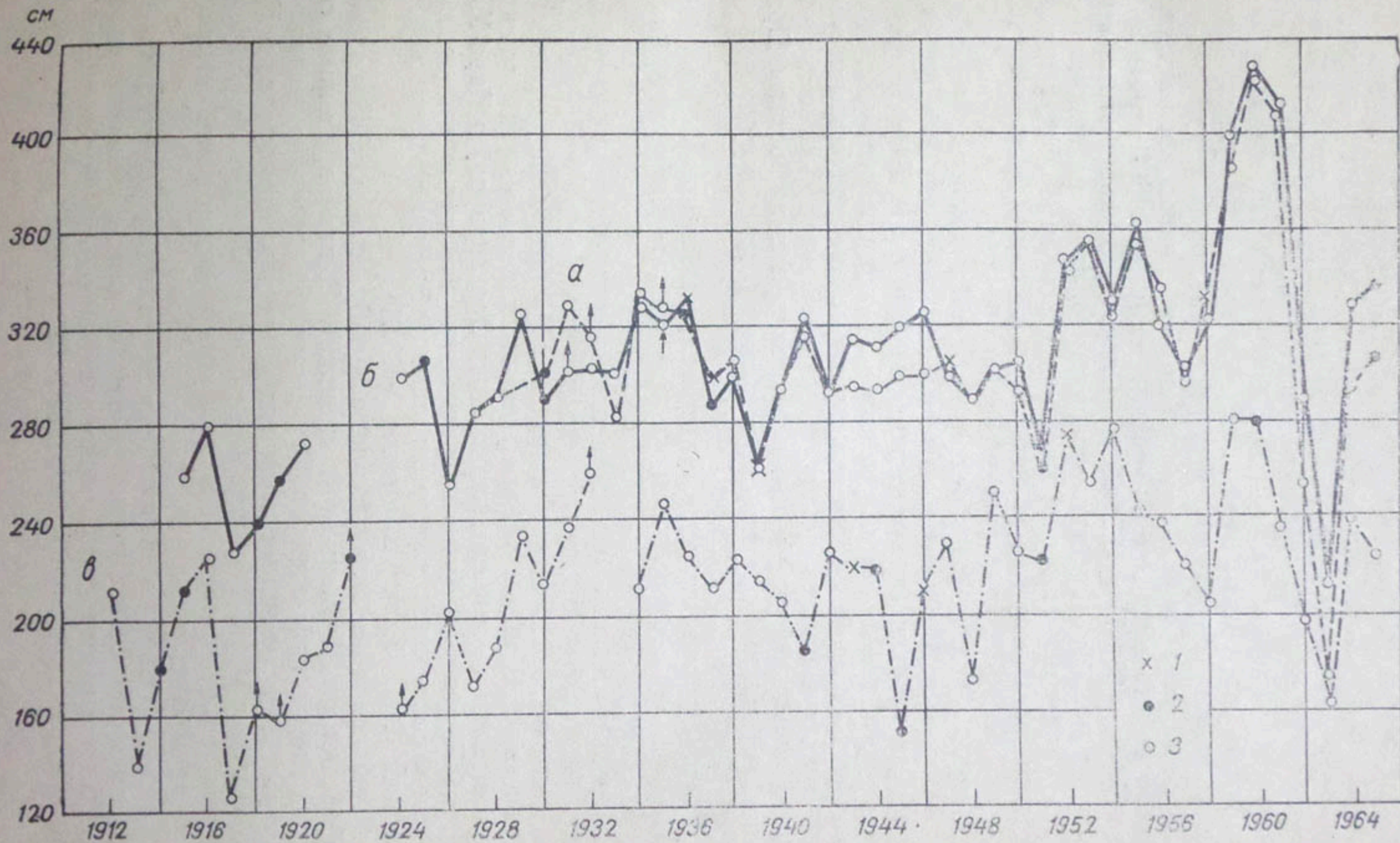


Рис. 2. Высшие зимние уровни на постах Кармакчи, река (а), Кармакчи, проток (б) и Казалинск (в).
 1 — замерзание, 2 — ледостав, 3 — вскрытие; стрелка — высший уровень не был отмечен.

Случается, что высокие уровни на данном посту наблюдаются в течение двух-трех зим подряд. Например, на посту Кармакчи самые высокие уровни (за все время наблюдений) пришлось на зимы 1958-59, 1959-60 и 1960-61 гг. Не отмечено случаев, чтобы в Кзыл-Орде, Кармакчах и Казалинске после зимы с низким уровнем воды наступала зима с очень высоким уровнем; это бывает через зиму или даже через две (для постов Кок-Булака и Тюмень-Арыка это правило не соблюдается). Создается впечатление, что для постов Кара-Узяка, Кармакчей и Казалинска существует некоторая гидрологическая преемственность от года к году.

В Кок-Булаке высокие уровни при фазе «чисто» характеризуют многоводность реки. Они наблюдались в зимы 1940-41, 1941-42, 1951-52, 1952-53, 1953-54 и 1958-59 гг. и характеризовали эти зимы как многоводные. Можно было предполагать, что и на нижних постах уровни воды при ледовых явлениях в эти зимы будут повышенными по сравнению с другими зимами. На самом деле этого не случилось: уровни были как высокие, так и низкие.

Вопрос о связи между уровнями воды на разных постах одной и той же реки имеет первостепенное значение, так как это вопрос о репрезентативности, представительности поста. Чем репрезентативнее пост, тем больший участок реки можно осветить его показаниями. При любых состояниях реки между колебаниями уровня воды на двух разных постах существует некоторое соответствие, которое тем теснее, чем меньше расстояние между постами. При достаточно большом расстоянии это соответствие нарушается местными причинами случайного характера.

Высшие уровни от года к году колеблются очень согласованно лишь на одноименных постах на реке и притоке, где коэффициент корреляции r равен 0,93—0,95 (табл. 5).

Хорошее согласие в колебаниях уровня обнаруживается и на столь близко расположенных постах как посты у г. Кзыл-Орды и в 12 км выше этого города (рис. 3). Но при увеличении расстояния всего до 30 км указанное соответствие делается гораздо слабее, как это видно на примере постов Кзыл-Орды (город) и Кара-Узяка, где $r=0,71$ (рис. 3). Когда же расстояние между постами достигает 200 км и более связи между высшими уровнями становятся совсем слабыми (Кара-Узяк и Кармакчи, $r=0,61$).

Совершенно нет связи уровня в Кок-Булаке с уровнями на всех других постах (Тюмень-Арык и ниже). Однако временные связи иногда все же наблюдаются. Так, например, довольно тесная зависимость между высшими уровнями на постах Кок-Булаке и Казалинске имела место в течение девяти зим (1953—1962 гг.). В другие зимы на столь длительные промежутки времени такой закономерности не наблюдалось.

Таким образом, в отношении высшего зимнего уровня любой пост характеризует участок только небольшой длины, существенно меньший 30 км; следовательно, по показаниям одного поста еще нельзя судить о многоводье или маловодье всей реки.

Коэффициенты корреляции высших уровней воды между собой (увеличено в 100 раз)

2 324

	Пост	Зимние уровни								Летние уровни							
		Тюмень-Арык	Кзыл-Орда	Кара-Узяк, река	Кара-Узяк, проток	Кармакчи, река	Кармакчи, проток	Казалинск	Среднее	Тюмень-Арык	Кзыл-Орда	Кара-Узяк, река	Кара-Узяк, проток	Кармакчи, река	Кармакчи, проток	Казалинск	Среднее
Зимние уровни	Тюмень-Арык	100	56	63	62	31	51	63	54	9	—12	—24	—14	—12	11	12	—4
	Кзыл-Орда	56	100	71	74	44	47	44	56	—21	—24	—25	—18	—16	—4	3	—15
	Кара-Узяк, река	63	71	100	93	48	58	51	64	—7	—25	—25	—20	—17	8	2	—12
	Кара-Узяк, проток	62	74	93	100	54	61	50	66	—17	—29	—25	—23	—20	3	2	—16
	Кармакчи, река	31	44	48	54	100	95	60	56	—33	—40	—31	—35	—18	18	11	—18
	Кармакчи, проток	51	47	58	61	95	100	66	63	—8	—39	—37	—40	—21	32	22	—13
	Казалинск	63	44	51	50	60	66	100	62	1	—18	—38	—28	—2	16	15	8
Летние уровни	Тюмень-Арык	32	26	21	8	5	27	36	22	100	93	74	90	80	69	69	79
	Кзыл-Орда	18	20	6	—8	—10	2	7	5	93	100	91	96	81	48	51	77
	Кара-Узяк, река	—2	11	—3	—14	—9	—14	—6	5	74	91	100	93	70	49	44	68
	Кара-Узяк, проток	19	24	6	—4	2	—6	—1	6	90	96	93	100	83	46	54	77
	Кармакчи, река	30	45	33	24	41	38	40	36	80	81	70	83	100	59	81	76
	Кармакчи, проток	32	33	32	18	41	53	48	37	69	48	49	46	59	100	84	59
	Казалинск	36	35	29	24	50	56	50	40	69	51	44	54	81	84	100	64

Примечание. В левом нижнем углу — результат сопоставления зимы с последующим летом, в правом верхнем — лета с последующей зимой.

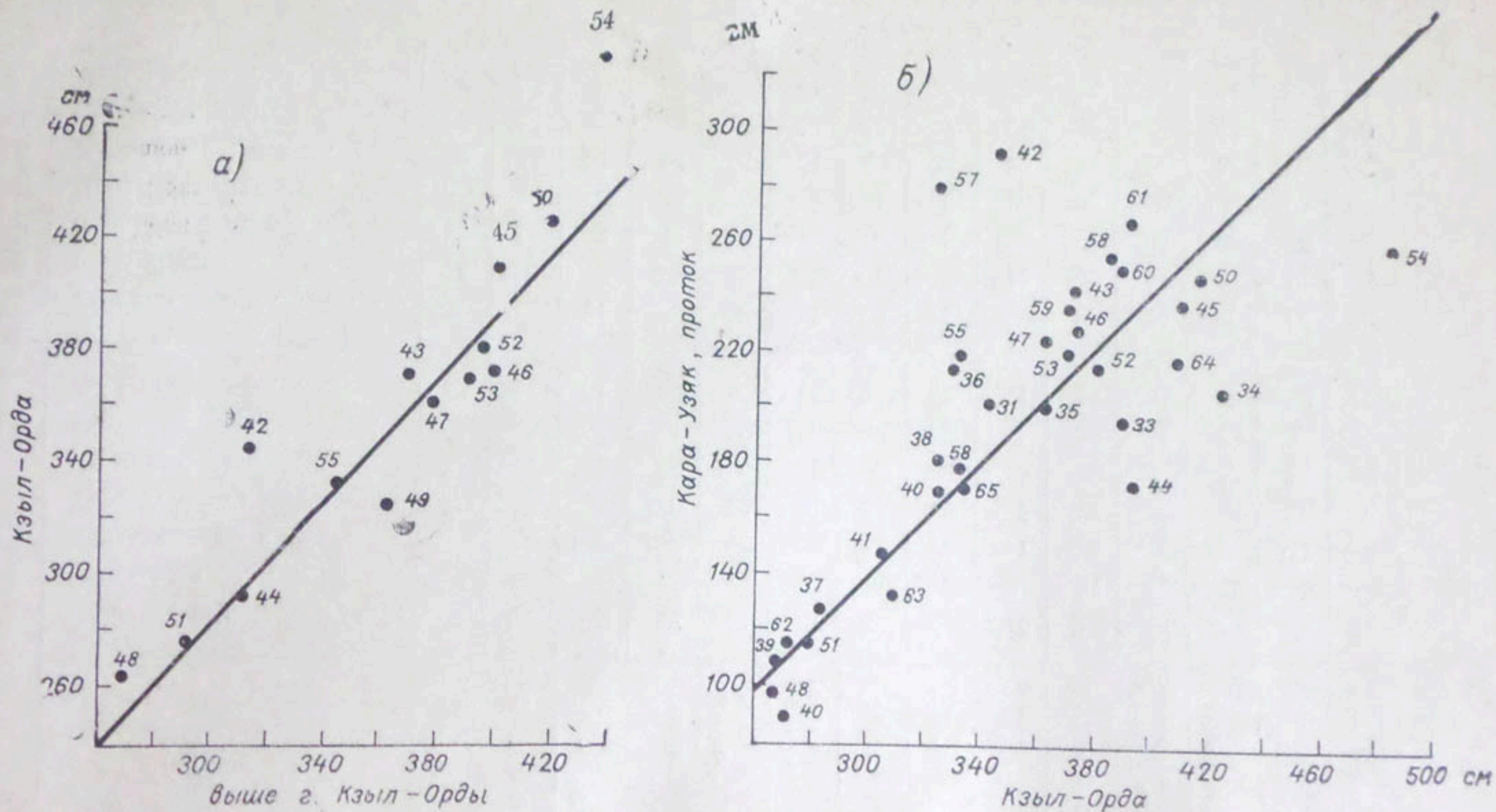


Рис. 3. Зависимость между высшими зимними уровнями.
а — г. Кзыл-Орда и выше Кзыл-Орды, б — Кара-Узьяк и г. Кзыл-Орда.

Высший за зиму уровень наблюдается около первого или последнего дня с ледоставом с отклонением от этой даты, как правило, до ± 2 дней, за исключением Казалинска, где этот уровень во многих случаях наблюдается значительно позже замерзания и раньше вскрытия. Последнее вполне объясняется особым положением этого поста на реке, характерным тем, что наиболее активные ледовые процессы происходят выше или ниже поста [8]. Из сказанного следует, что самые опасные явления в реке наблюдаются на кромке ледостава, что, впрочем, уже давно известно.

В преобладающем числе случаев (табл. 6) высший за зиму уровень воды наблюдается при вскрытии реки и чаще всего в последний день с ледоставом или в первый день без ледостава (иначе, первый день с ледоходом).

Т а б л и ц а 6

Распределение высших зимних уровней по постам и фазам (%)

Пост	Число зим (абс.)	Число зим (%), когда высший уровень наблюдался при		
		замерзании	ледоставе	вскрытии
Кок-Булак	9	11	11	78
Тюмень-Арык	42	12	29	59
Кзыл-Орда, город	34	3	12	85
Кара-Узяк, река	48	6	13	81
Кара-Узяк, проток	45	7	7	86
Кармакчи, река	38	11	13	76
Кармакчи, проток	48	2	12	86
Казалинск	52	6	15	79

П р и м е ч а н и е. Зимы без ледовых явлений во внимание не приняты.

Редки зимы, когда высший уровень падал на период замерзания. Несколько чаще, но все же редко наблюдались эти уровни при ледоставе, т. е. много времени спустя после замерзания реки или задолго до вскрытия реки.

На участке от Кзыл-Орды до Казалинска высший уровень наблюдался при вскрытии в 82%, при ледоставе в 12% и при замерзании в 6% всех случаев (табл. 6).

Неожиданным является то, что высший уровень в два раза чаще наблюдался при ледоставе (когда кромка льда находилась далеко выше поста), чем при замерзании, т. е. как будто бы при осенних зажорах уровень воды бывает ниже, чем при установившемся состоянии реки, которое наблюдается при устойчивом ледоставе. Это объясняется тем, что а) в зажорном состоянии река находится не только в начале, но и в течение всего ледоставного периода (перма-

нентный зажор), б) во время осенних зажоров расход воды в реке сильно падает благодаря разливам реки, а это приводит к тому, что подпертый зажорный уровень воды не достигает той величины, которой он достиг бы при постоянном расходе воды. Зимой, при ледоставе, расход восстанавливается и уровень повышается. Этот вопрос будет разобран более полно в последующих главах.

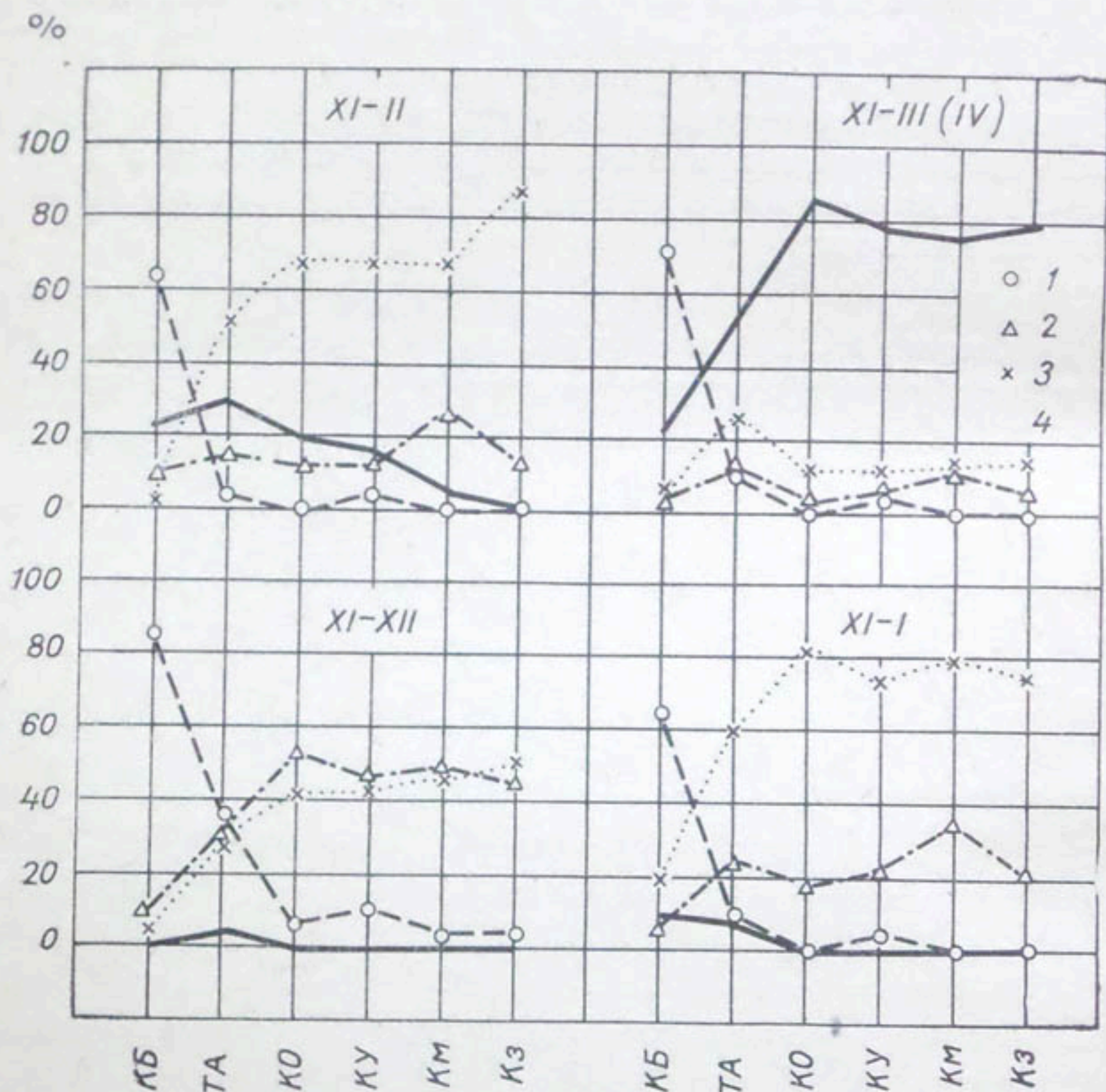


Рис. 4. Повторяемость высшего уровня по фазам и постам для периодов XI—XII, XI—I, XI—II и XI—III (IV).

1 — чисто, 2 — замерзание, 3 — ледостав, 4 — вскрытие. КБ — Кок-Булак, ТА — Тюмень-Арык, КО — Кзыл-Орда, КУ — Кара-Узяк, КМ — Кармакчи, КЗ — Казалинск.

Более детальные сведения о распределении повторяемости высшего зимнего уровня по ледовым фазам, сезонам и постам (характеризующим расстояние от устья) даются на рис. 4, позволяющем сделать ряд выводов.

На самом верхнем посту Кок-Булак (1640 км), где ледостав отмечается в редкие зимы, высший уровень чаще бывает при фазе «чисто», т. е. при отсутствии ледостава; в Кзыл-Орде (654 км) и ниже высший уровень при этой фазе в январе и позже практически отсутствует.

Высший уровень за период ноябрь — декабрь одинаково часто наблюдается как при замерзании, так и при ледоставе (устойчивом). Но присоединение к этому периоду одного лишь января меняет всю картину: высший уровень за ноябрь — январь гораздо чаще наблюдается при устойчивом ледоставе, чем при всех других фазах вместе взятых. Это еще раз указывает на то, что уровень воды при осенних зажорах обычно бывает ниже уровня при устойчивом ледоставе.

За период ноябрь — февраль высший уровень все еще наиболее часто бывает при ледоставе, но за период ноябрь — март наибольшая частота высшего уровня переходит к фазе вскрытия.

Таким образом, если судить по частоте высшего уровня, то возможность выхода реки из берегов непрерывно возрастает от начала гидрологической зимы к концу ее, точнее, от начала осенних шугоходов до весеннего ледохода (табл. 7).

Хотя наибольшие за зиму уровни наблюдаются чаще всего при вскрытии реки и реже при замерзании, самые высокие уровни в многолетнем ряду на некоторых постах наблюдались все же при замерзании реки. Так на посту Тюмень-Арыке самый высокий уровень за 45 зим имел место при замерзании реки (зимой 1953-54 г.), на реке и протоке у ж.-д. ст. Кара-Узяк (зимой 1941-42 г.) и на посту выше г. Кзыл-Орды (зимой 1953-54 г.). На последнем посту наблюдения имеются только за 14 зим, но это обстоятельство не должно обесценивать результата, так как высший уровень здесь пришелся на ту же многоводную зиму, что и в Тюмень-Арыке. Значит нельзя пренебрегать опасностью очень высокого уровня и во время осенних зажоров.

Отсутствует зависимость (в обычном смысле этого слова) между наибольшим уровнем и временем его наступления (по отношению к первому и последнему дню с ледоставом); нельзя, например, сказать, что чем больше запаздывает наступление наибольшего уровня по сравнению с последним днем с ледоставом, тем ниже этот уровень.

3. Соотношение между высшим зимним и высшим летним уровнем воды

В отдельные годы соотношение между высшими летними и зимними уровнями бывает различным: в одни годы зимний уровень превышает летний, а в другие, наоборот, летний превышает зимний, но на всех постах (в Тюмень-Арыке и ниже) высший зимний уровень чаще оказывался выше высшего летнего, и тем чаще, чем ближе к устью находился пост; так, в Тюмень-Арыке первый был выше в 57% случаев, в Кзыл-Орде в 76%, в Кара-Узяке в 63% (проток 73%), Кармакчах в 97% (проток 92%) и в Казалинске в 96% случаев. Объясняется это распластыванием по длине реки половодья летом и концентрацией стока зимой, которые тем сильнее, чем ближе пост к устью реки.

Распределение зимних высших уровней по месяцам

Пост	Годы наблюдений	Всего случаев	Число зим (абс.), когда высший уровень наблюдался в месяцы							Число зим (%)					
			XI	XII	I	II	III	IV _в	IV _п	XI	XII	I	II	III	IV _в
Кок-Булак	1929—1961	31	5	3	4	5	14	0	22	16	10	13	16	45	0
Тюмень-Арык	1913—1965	46	1	5	10	12	18	0	3	2	11	22	26	39	0
Кзыл-Орда, выше города . .	1941—1955	14	0	2	0	4	7	1	0	0	14	0	29	50	7
Кзыл-Орда, город	1930—1965	34	0	2	0	9	22	1	0	0	6	0	26	65	3
Кара-Узяк, река	1913—1965	50	1	2	3	6	36	2	1	2	4	6	12	72	4
Кара-Узяк, проток	1915—1965	47	1	3	2	6	33	2	0	2	6	4	13	71	4
Кармакчи, река	1928—1965	39	0	5	1	1	22	10	0	0	13	3	3	55	26
Кармакчи, проток	1914—1965	48	1	1	1	2	32	11	0	2	2	2	4	67	23
Казалинск	1911—1965	52	1	4	1	2	26	18	0	2	8	2	4	50	34

Примечание. Случаи, когда высший зимний уровень воды падал на апрель, разделены на две части: на IV_в — высший уровень в апреле был связан со вскрытием реки и на IV_п — когда он был вызван паводками, пришедшими из водосбора. Последние случаи в графу „Всего случаев“ не включены.

Самый высокий уровень, зафиксированный за все время наблюдений до весны 1965 г. на рассматриваемом участке Сырдарьи (от Тюмень-Арыка до Казалинска) был отмечен зимой, а не летом. Это относится как к среднему значению высшего уровня, так и к его крайним значениям, причем превышение высшего зимнего уровня над высшим летним уровнем наиболее велико для низших значений этой величины. Среди постов в этом отношении выделяется пост в г. Кзыл-Орде, где разница в средних значениях высшего уровня составила 70 см, в высших — 116 см и в низших — 196 см. Но амплитуда колебаний высших уровней (разница между крайними значениями) на всех постах (кроме Тюмень-Арыка) оказалась больше летом, чем зимой.

В Тюмень-Арыке самый высокий уровень летом не превышал 340 см, тогда как такой же и выше уровень зимой был отмечен по крайней мере девять раз (в ряде зим прекращались наблюдения из-за разрушения поста). Самый высокий уровень был отмечен 25 февраля 1954 г. при повторном замерзании реки и составил 408 см, т. е. был на 68 см выше самого высокого летнего уровня. В Кзыл-Орде высший летний уровень составил 370 см, а высший зимний такой высоты и выше наблюдался 13 раз и 30 марта 1954 г. при вскрытии реки достигал 486 см. В Казалинске высший из высших летний уровень (211 см) был достигнут и превзойден зимой 29 раз.

Между амплитудами колебаний высшего уровня воды на постах (A) и средними квадратическими отклонениями σ существует корреляционная связь. Ее регрессия выражается уравнением

$$A = 3,6\sigma + 36.$$

Средние квадратические отклонения высшего уровня уменьшаются вниз по течению, т. е. растут с увеличением расстояния от устья l согласно уравнениям:

$$\sigma_3 = 0,037l + 27,$$

$$\sigma_{\text{л}} = 0,084l + 11,$$

где σ_3 — относится к зимним, а $\sigma_{\text{л}}$ — к летним высшим уровням.

Исключая отсюда расстояние l , получим $\frac{\sigma_3 - 27}{\sigma_{\text{л}} - 11} = 0,45$, или

$$\sigma_3 = 0,45\sigma_{\text{л}} + 22.$$

Последнее уравнение отражает зависимость между средними квадратическими отклонениями зимних и летних высших уровней. Кривая зависимость между σ_3 и $\sigma_{\text{л}}$, построенная по данным фактических наблюдений, выражается уравнением

$$\sigma_3 = 0,46\sigma_{\text{л}} + 20,$$

близким к только что выведенному. Полученная связь довольно тесная, но далеко вверх от линии регрессии отклоняется точка, представляющая пост Тюмень-Арык, который таким образом выделяет-

ся из всех остальных постов, согласованно отражающих через σ_z и σ_d некоторые особенности режима реки в зимний и летний периоды.

Кривые обеспеченности нормированных значений высшего зимнего уровня $\frac{H - \bar{H}}{\sigma}$ всех пяти основных постов близки друг к другу и могут быть заменены одной осредненной кривой. Эти кривые близки к симметричным (рис. 5). Кривые для всех постов (рис. 5 б) получены путем осреднения ординат кривых обеспеченности для отдельных постов (рис. 5 а): кривая I — осреднялись все пять ординат, кривая II — осреднялись две крайние ординаты.

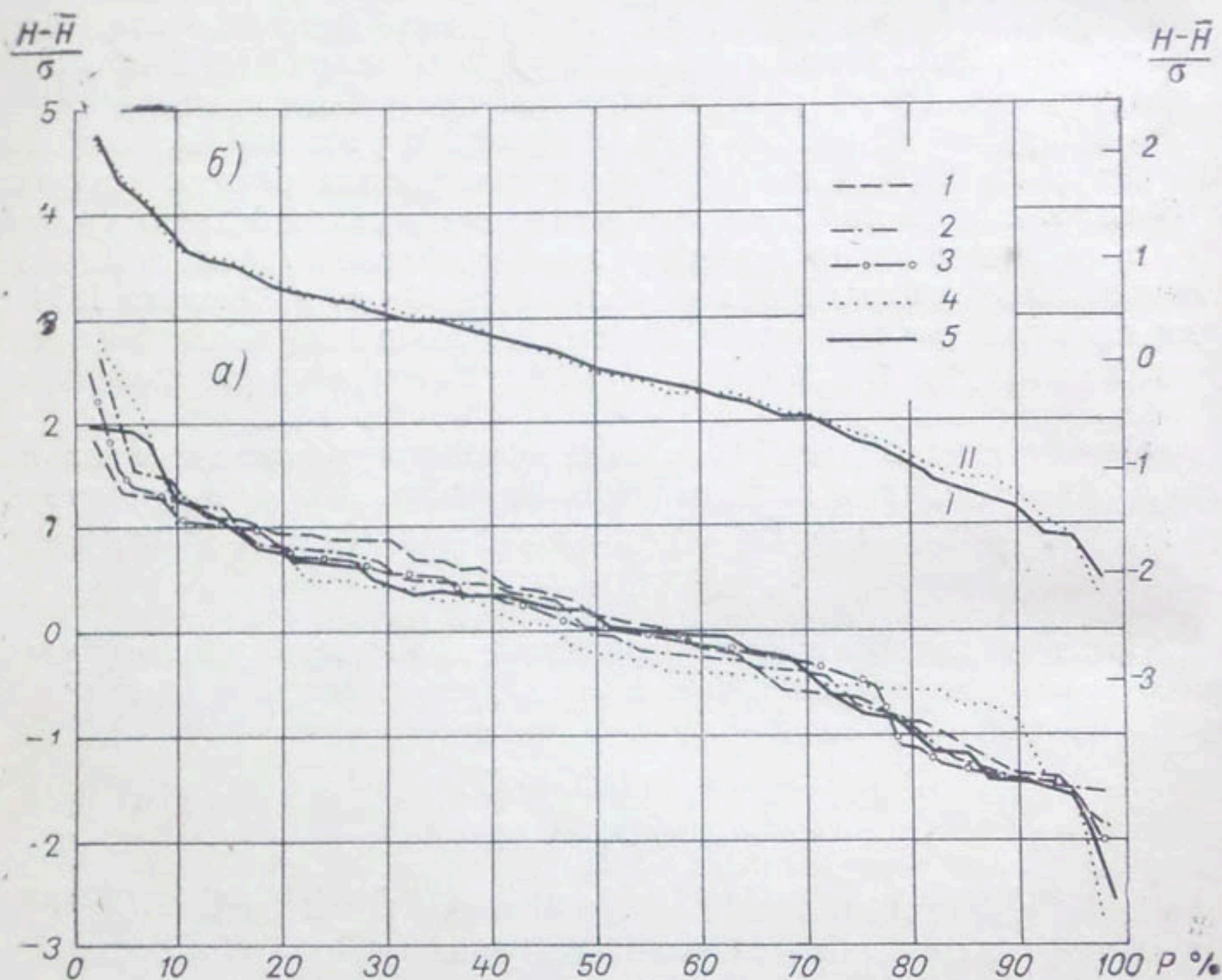


Рис. 5. Кривые обеспеченности нормированных значений высшего уровня воды для отдельных постов (а) и общие для всех постов (б).

1 — Тюмень-Арык, 2 — Кызыл-Орда, 3 — Кара-Узяк, 4 — Кармакчи, 5 — Казалинск.

Летние кривые имеют очень круто падающие правые концы (круче, чем у зимних), что отражает искусственное «срезание» паводков ирригацией в маловодные годы, и пологие левые (положе, чем у зимних), что может быть объяснено разливами реки на большом протяжении. Это обстоятельство получило отражение в коэффициентах асимметрии C_s (табл. 8), которые для лета оказались больше зимних по абсолютной величине и отрицательными по всем

Статистические характеристики высшего уровня воды H зимой (з) и летом (л)

	Тюмень-Арык 157,74 м БС		Кзыл-Орда 123,87 м БС		Кара-Узьяк, река 121,89 м БС		Кара-Узьяк, проток 121,68 м БС		Кармакчи, река 97,13 м абс.		Кармакчи, проток 97,08 м БС		Казалинск 64,56 м БС	
	з	л	з	л	з	л	з	л	з	л	з	л	з	л
Число лет														
полное	46	46	34	34	50	50	47	42	39	39	48	48	52	52
когда высший зимний уровень (летний) был выше летнего (зимнего)	26	20	25	8	31	18	30	11	38	1	44	4	50	2
Уровень														
средний, $\bar{H}$	268	259	347	277	190	154	196	138	237	180	226	181	213	159
высший	408	340	486	370	313	241	293	233	343	233	349	254	282	211
низший	111	62	264	68	98	—65	91	—81	132	19	131	73	124	32
Амплитуда	297	278	222	302	215	306	202	314	211	214	218	181	158	179
Среднее квадратическое отклонение σ	77	69	53	70	49	61	52	71	38	42	42	38	35	33
Коэффициент асимметрии C_s	—0,34	—1,22	0,28	—1,39	—0,05	—1,51	—0,24	—1,42	0,39	—1,66	0,57	—0,65	—0,16	—1,25
Вероятные ошибки														
$\bar{H}$	11,3	10,1	9,1	12,1	6,9	8,6	7,6	10,9	6,2	6,7	6,0	5,5	4,9	4,6
σ	8,0	7,2	6,4	8,5	4,9	6,1	5,4	7,7	4,4	4,7	4,3	3,9	3,5	3,3
C_s	0,36	0,36	0,42	0,42	0,35	0,35	0,36	0,38	0,39	0,39	0,35	0,35	0,34	0,34

Примечания: 1. Уровни даны в сантиметрах над нулями графика. 2. Сумма граф „з“ и „л“ второй строки не дает первую из-за пропусков в наблюдениях.

постам (скос кривой частот в сторону малых значений уровня), тогда как для зимы эти величины гораздо меньше и различны по знаку, так что в среднем они оказываются симметричными. О последнем говорят и вероятные ошибки коэффициента асимметрии, которые приблизительно равны самим коэффициентам C_s .

Между высшими уровнями зимы и лета связи отсутствуют: высокий уровень летом не влечет за собою высокого уровня зимой и, наоборот, высокий зимний уровень не влечет многоводное лето. На это указывают, во-первых, малые коэффициенты корреляции и большие вероятные ошибки их и, во-вторых, беспорядочное колебание коэффициентов корреляции при переходе от одного поста к другому (табл. 5).

4. Зависимость высшего зимнего уровня на нижних постах от расхода воды в Кок-Булаке

Рассмотрены зависимости высшего зимнего уровня на основных пяти постах (от Тюмень-Арыка до Казалинска) от соответственного ему (с учетом времени добегания) среднего декадного расхода воды в Кок-Булаке. Аналогичные графики зависимости были построены также для высших уровней за периоды ноябрь — декабрь, ноябрь — январь, ноябрь — февраль. На рис. 6 приводится одна из таких связей (для поста Кзыл-Орда), оказавшаяся типичной для всех постов, кроме Тюмень-Арыка, для которого она несколько теснее остальных.

Все связи получились прямыми и криволинейными, но слабыми, особенно для нижних постов. Наиболее тесны связи для периода ноябрь — март (вся зима).

Замена среднего декадного расхода воды в Кок-Булаке средним суточным не привела к увеличению тесноты связи.

Эти связи можно применять для ориентировочных прогнозов следующим образом:

а) пусть расход воды в нижнем бьефе Чардаринского водохранилища начиная с даты D намечено установить равным Q_0 м³/сек. и держать его таким больше декады;

б) находим время добегания τ до интересующего нас поста A , прибавляем его к дате D и получаем дату $D_\tau = D + \tau$, в которую начнет сказываться изменение расхода воды на данном посту;

в) по последней дате D_τ находим период, в который эта дата попадет. Это будет либо ноябрь—декабрь, либо ноябрь—январь и т. д.;

г) по горизонтальной оси соответствующего графика (рис. 6) откладываем расход Q_0 и на вертикальной оси читаем уровень H , который следует ожидать на посту A в случае, если этот уровень окажется высшим за период.

Пусть, например, в нижнем бьефе Чардаринского водохранилища расход Q был увеличен до 500 м³/сек. 7 января; на посту Кзыл-Орда (пост A) это увеличение скажется через 11 суток (читаем на графике рис. 6), т. е. 18 января. На горизонтальной оси графика рис. 6 откладываем 500 м³/сек. и обнаруживаем, что на вертикальной

прямой, соответствующей $Q_0 = 500 \text{ м}^3/\text{сек.}$, группируются точки с ординатами от 230 до 340 см. В этих пределах и следует ожидать искомый уровень на посту Кзыл-Орда, если он окажется высшим для этого периода. Затем изучаются полученные результаты. При этом прежде всего обнаруживается, что уровень воды выше 340 см

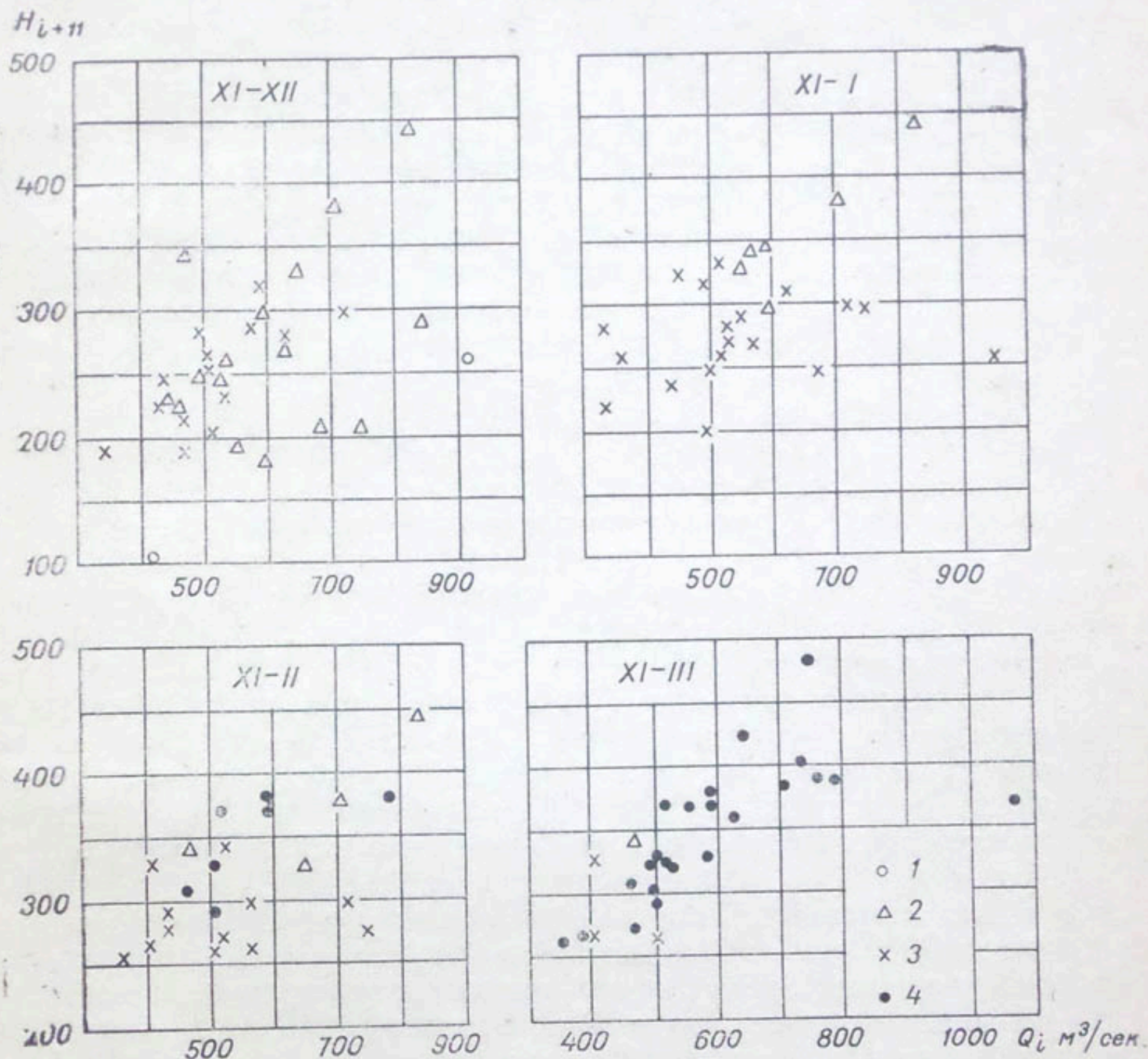


Рис. 6. Зависимость наибольшего (по периодам) уровня в Кзыл-Орде (город) H_{i+1} от соответственного среднего декадного расхода воды в Кок-Булаке (Чардаре) Q_i .

1 — чисто, 2 — замерзание, 3 — ледостав, 4 — вскрытие.

ни разу не наблюдался при ледоставе (рис. 6); выше 340 см уровень был только при замерзании. Далее узнаем, что при замерзании все высшие уровни, за исключением одного, наблюдались ранее, т. е. в ноябре или декабре (график для ноября — декабря). Так как фаза замерзания (допустим) уже окончилась и вскрытия по условиям погоды и состояния реки (кромка льда находится далеко вверх от Кзыл-Орды) не предвидится, то при намеченном попуске

$Q = 500 \text{ м}^3/\text{сек.}$ уровень в Кзыл-Орде выше 340 см ожидать нет оснований.

Сравнивая уровень 340 см с нормой (многолетней средней величиной), с опасным значением уровня и т. п., мы получим его оценку. Может случиться, что найденного решения будет достаточно для поставленных целей. В противном случае придется обратиться к главе IV «Движение паводков» для уточнения полученного результата.

Каждый график из серии рисунков типа рис. 6 показывает хотя и слабую, но прямую зависимость между связываемыми величинами, которая является следствием сложения двух тенденций: текущей и годовой. Первая тенденция отражает тот факт, что увеличение или уменьшение расхода воды в нижнем бьефе Чардаринского водохранилища с соответствующим запозданием вызывает повышение или понижение уровня воды на ниже расположенном посту А. Вторая тенденция выражается в том, что при общем многоводье Сырдарьи в данном году большие расходы и высокие уровни наблюдаются как в Чардаре, так и в пункте А.

Кроме этих двух тенденций, имеется еще много других, никак не учитываемых, которые проявляются на всем протяжении реки от Чардары до пункта А и суммарное влияние которых сильнее, чем влияние упомянутых тенденций. Поэтому связи, изображенные на рис. 6 и ему подобных, оказались слабыми. Эти три вида тенденций нужно всегда иметь в виду при анализе графического материала, аналогичного данному.

Малая теснота этих связей показывает, что увеличением или уменьшением расхода воды в нижнем бьефе Чардаринского водохранилища на сотню кубических метров в секунду продолжительностью до десяти дней нельзя сколько-нибудь надежно продиктовать высоту высшего уровня в Тюмень-Арыке, Кзыл-Орде и т. д.

При одинаковых соответственных расходах воды в Кок-Булаке отсутствует зависимость высшего уровня от ледовой фазы. Например, высший уровень, наблюдавшийся при замерзании не выделяется своей величиной среди высших уровней, случившихся при вскрытии или при ледоставе. Это не противоречит ранее сказанному, что высший уровень, наблюдавшийся при замерзании, большей частью бывает ниже уровня при вскрытии, так как там сравнивались уровни, относящиеся к общим (одним и тем же) зимам, а здесь — к разным зимам. Хотя высший зимний уровень при замерзании наблюдается и редко, но если это случается, то по величине он не уступает высшим уровням при вскрытии и при ледоставе.

Указанное обстоятельство на графике (рис. 6) выражается в том, что гот или иной значок (точка, кружок и т. д.) не выделяется своим особым положением среди других значков.

При одинаковых расходах воды в Кок-Булаке высший уровень в низовье Сырдарьи бывает тем больше, чем ближе к весне он наблюдается. Например, при расходе $450 \text{ м}^3/\text{сек.}$ в Кок-Булаке высший уровень в Кзыл-Орде за ноябрь — март выше, чем за ноябрь —

декабрь. Это не может быть объяснено увеличением от осени к весне степени зажорности или вообще увеличением степени стесненности русла льдом, так как этот процесс идет в обратном направлении. Оно просто иллюстрирует ранее высказанную мысль, что от осени к весне происходит увеличение расхода воды в нижней части реки за счет слива воды, ранее задержанной в разливах.

Отсутствие достаточно тесных связей высшего уровня в низовье Сырдарьи с расходами воды в Кок-Булаке объясняется в значительной мере характером самой величины высшего уровня, зависящей от многих причин, не связанных с расходом воды Сырдарьи у Кок-Булака. Поэтому было бы полезно на графиках связи заменить высший уровень какой-либо другой характеристикой зимнего уровня, менее связанной со случайными обстоятельствами. Для этого высший уровень был заменен средним (по четырем нижним постам) из высших, средним декадным (в Кара-Узьяке), наибольшим (за зиму) из средних месячных, но от этого связи не стали теснее.

Если бы связи, изображенные на рис. 6 и ему подобных, были достаточно тесными, по ним можно было бы предсказывать высший уровень воды на постах Тюмень-Арыке, Кзыл-Орде и другим по расходам воды в Кок-Булаке или Чардаре. И так как теперь расходы воды в Чардаре можно искусственно изменять, то представилась бы возможность искусственно уменьшать и сам высший уровень, предупреждая тем самым наводнения, вероятность наступления которых зависит от этого уровня.

Однако эти связи оказались слабыми и поэтому пригодными лишь для ориентировки в рассматриваемом вопросе. Они показывают, что с помощью попусков из Чардаринского водохранилища нельзя надежно регулировать величину высшего уровня в низовьях реки. Например, при попуске $600 \text{ м}^3/\text{сек.}$ на посту г. Кзыл-Орды высший уровень воды может быть и 280, и 430 см над нулем графика (рис. 6). Первое число является одним из самых низких значений высшего уровня, второе приближается к самым высоким (выше уровень был только в две зимы).

5. Инерционные связи между уровнями зимних месяцев

Связи высшего уровня воды в р. Сырдарье на постах Тюмень-Арыке, Кзыл-Орде и других с расходом воды в Кок-Булаке (или Чардаре) отражают две тенденции, текущую и годовую, из которых вторая отражает тот факт, что, если река многоводна в течение всей зимы, то она многоводна не только в Кок-Булаке, но и на других постах; другими словами, на всех этих постах уровень в данную зиму держится повышенным по сравнению с другими зимами. Точно также в маловодную зиму уровень будет пониженным на всех постах. Указанная тенденция, очевидно, должна проявиться не только по длине реки, т. е. в пространстве, но во времени (например, за многоводным ноябрем должны следовать и многоводные декабрь,

январь и т. д.), иначе говоря, между уровнями двух месяцев, например ноября и последующего марта, должна существовать прямая зависимость. Такие зависимости принято называть инерционными. Инерционность создается не только общей многоводностью или маловодностью всей реки, но также и местными причинами. Например, если в декабре некоторого года река у поста А текла в стесненном русле и, следовательно, при повышенном уровне, то при повышенном уровне на этом же посту она будет иметь тенденцию течь и в другие месяцы зимы. Местные тенденции, складываясь с годовой тенденцией, создают для каждого данного пункта реки преемственность гидрологических процессов во времени, носящую название гидрологической инерции, которая по отношению к уровню воды на данном уровне на этом же посту она будет иметь тенденцию течь и в другом и том же посту в два календарных момента или промежутка времени, обнаруживается корреляционная зависимость.

Инерционные связи широко используются гидрологами-прогнозистами. Используются они и в данной работе. На рис. 7 изображены связи среднего месячного уровня воды в Тюмень-Арыке за ноябрь с высшими уровнями воды на том же посту в феврале и в марте.

На обоих графиках четко выделяются по две полосы точек. Одна для случаев, когда высший уровень воды наблюдался при ледовых образованиях (верхняя полоса точек), другая для случаев, когда этот уровень был при отсутствии ледовых явлений (при фазе «чисто»). Причина раздвоения связей понятна без пояснений.

По этим графикам можно уже 1 декабря составить прогноз о высшем уровне воды в марте при условии, если удастся предсказать: вскрыется ли река до 1 февраля или до 1 марта. Так как надежного прогноза такого рода получить нельзя, то при прогнозе высшего уровня в феврале придется предположить, что река до 1 февраля не вскрыется, основываясь на том, что в Тюмень-Арыке высший месячный уровень воды за февраль при фазе «чисто» наблюдался редко: только в четырех зимах из сорока. Когда же требуется узнать высший уровень в марте, то ледовую фазу (вскрытие, ледостав или «чисто»), т. е. один из двух графиков (рис. 7 б), придется выбирать исходя из каких-то других соображений, так как в этом месяце высший уровень чаще бывает при фазе «чисто».

Хотя отдельные точки на графиках рис. 7 довольно далеко отклоняются от линии регрессии (линии связи), все же связи выражены настолько отчетливо, что ими можно пользоваться для составления ориентировочных гидрологических прогнозов. Ординаты этих линий связи следует рассматривать в качестве меры опасности наводнений в предстоящую зиму, причем колебания ее в зависимости от среднего уровня воды на посту Тюмень-Арык в ноябре получаются весьма значительными. Так, в ноябре 1917 г. (точка помечена на рис. 7 цифрой 18) средний уровень составил 29 см; ему соответствовал высший уровень в марте 1918 г. 154 см, а в марте 1954 г. он достиг 405 см (вычислен по данным за ноябрь 1953 г.).

Как видим, второе число (405 см) существенно больше первого (154 см), поэтому опасность наводнения и разрушений в предстоящую зиму в конце ноября 1953 г. должна быть оценена гораздо большим баллом, чем в 1917 г.

Высшие уровни за март, февраль и другие месяцы были связаны так же со средними уровнями за декабрь, январь, с высшими месячными уровнями, с высшими периодными уровнями (за ноябрь —

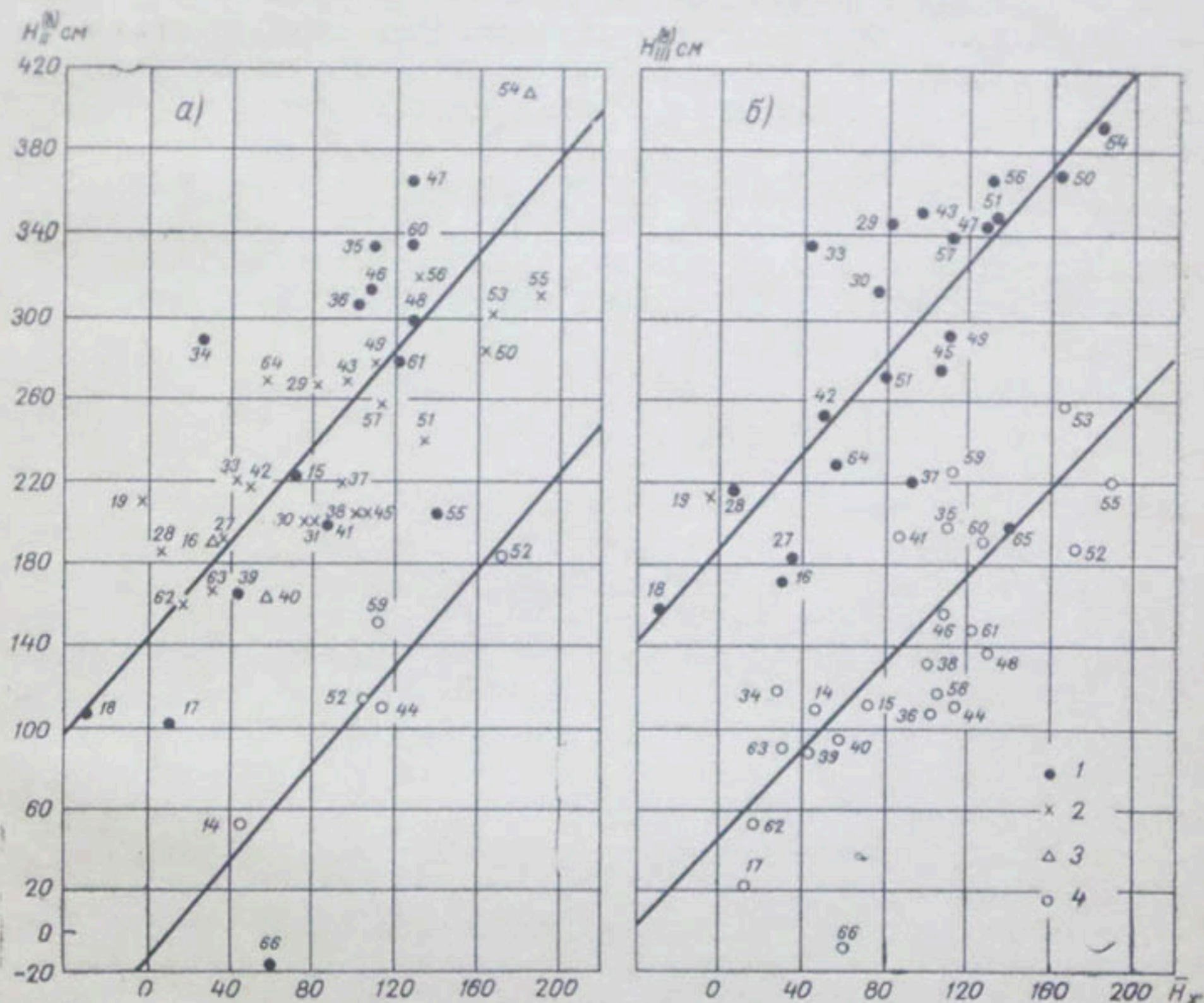


Рис. 7. Зависимость высшего уровня в феврале H_{II}^B (а) и марте H_{III}^B (б) от среднего уровня в ноябре $\bar{H}_{XI}$.

1 — вскрытие, 2 — ледостав, 3 — замерзание, 4 — чисто. Числа у точек — годы, когда наблюдался высший уровень. $H_{II}^B = 1,18\bar{H}_{XI} + 142$, $H_{III}^B = 1,18\bar{H}_{XI} + 188$.

декабрь, ноябрь — январь и т. д.) и со средними месячными и средними декадными расходами воды. Но такие связи оказались не теснее связей, изображенных на рис. 7. Таким образом, средние месячные уровни, как аргументы инерционных связей, оказались наиболее репрезентативными из всех других месячных характеристик уровня и расхода воды.

Инерционные связи указывают также на то, что вероятность высокого уровня и, следовательно, наводнения в маловодные годы

наименьшая. Поэтому держать зимой небольшой расход воды в реке — значит обеспечить наименьшую опасность наводнения.

Инерционные связи на разных постах проявляются по-разному; существуют многолетние тенденции, открытие которых может оказаться полезным для познания жизни реки и выработки мер борьбы с вредными явлениями.

Графики рис. 7 можно использовать для предсказания высшего уровня в феврале и в марте, но по уровню в ноябре нельзя предсказать, как высок будет высший уровень за всю зиму (с ноября по март включительно) независимо от времени его прохождения. Ответа на этот вопрос с помощью инерционных связей найдено не было.

Здесь приведены лишь две прогностические инерционные связи (рис. 7). Однако легко можно разработать целую систему подобных связей для составления по ним прогнозов, необходимых заинтересованным ведомствам. Однако на этом мы останавливаться не можем.

РУСЛОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОКА, СВЯЗАННОЕ С ДВИЖЕНИЕМ КРОМКИ ЛЬДА И ДРУГИМИ ЛЕДОВЫМИ ЯВЛЕНИЯМИ

1. Простейшая теория

Очень существенной причиной колебания расходов воды в реках Амударье и Сырдарье в то время года, когда они бывают покрыты льдом, является русловое регулирование, связанное с перемещением кромки льда по реке. При движении этой кромки вверх по реке происходит повышение уровня воды (см. рис. 9) на вновь замерзающих участках и наполнение русла водой, а это ведет к уменьшению расхода воды на ниже лежащих участках, обычно сопровождающемуся там падением уровня. В этом же направлении действует превращение текущей воды в неподвижный лед. При обратном движении кромки льда, т. е. вниз по течению имеет место слив воды, задержанной ранее в русле и в разливах, а также в ледяном покрове, что приводит к увеличению расхода воды в реке на кромке и ниже ее. Когда кромка льда останавливается, то прекращается наполнение русла водой или освобождение его от нее, отчего расход воды возвращается к своему исходному значению. Таким образом, во время движения кромки льда вверх или вниз по реке проходит положительный или отрицательный паводок, возникающий благодаря перераспределению воды в русле. Положительным паводком мы называем обычный паводок с повышением уровня, вызванный движением кромки льда вниз по течению, и отрицательным — впадину на гидрографе, связанную с движением кромки льда вверх по реке.

В работе автора [9] дается вывод формулы

$$\Delta Q = \frac{B \Delta H}{\frac{1}{w} - \frac{1}{v}} = \frac{\Delta F}{\frac{1}{w} - \frac{1}{v}} \quad (1)$$

для определения прибавки к расходу воды ΔQ на посту, который мы здесь повторим в сокращенном виде. Пусть в момент времени t кромка льда находилась на расстоянии l выше поста, устья реки или вообще любой неподвижной точки, соответствующем $\frac{l}{v}$ единицам времени пробега при средней скорости v движения паводка по льду. Через время Δt , т. е. к моменту времени $t + \Delta t = t + \frac{\Delta l}{w}$, кромка льда продвинулась вниз на расстояние $\Delta l = w\Delta t$, пройдя его со средней скоростью w , и оказалась на расстоянии $l - \Delta l$ от упомянутой точки, равном $\frac{l}{v} - \frac{\Delta l}{v}$ единицам времени пробега. Освободившаяся вода на пройденном кромкой льда участке реки образует паводок с дополнительным объемом $\Delta Q' \Delta t = \Delta Q' \frac{\Delta l}{w}$ и средней добавкой $\Delta Q'$ к исходному расходу Q . Этот дополнительный объем пройдет мимо поста за время от $t + \frac{l}{v}$ до $t + \Delta t + \frac{l}{v} - \frac{\Delta l}{v}$, т. е. за промежуток времени $\Delta t - \frac{\Delta l}{v} = \frac{\Delta l}{w} - \frac{\Delta l}{v}$, на $\frac{\Delta l}{v}$ короче того промежутка времени Δt , который понадобился кромке льда, чтобы преодолеть расстояние Δl . За счет этого сокращения времени средняя добавка к расходу на посту

$$\Delta Q = \Delta Q' \frac{\Delta l}{w} : \left(\frac{\Delta l}{w} - \frac{\Delta l}{v} \right) = \frac{\Delta Q'}{1 - \frac{w}{v}} \quad (2)$$

станет больше $\Delta Q'$, так как $w < v$.

Делая замену $\Delta Q' = w \Delta F = w B \Delta H$ (B — ширина реки, ΔH — падение уровня после вскрытия реки), найдем

$$\Delta Q = \frac{\Delta F \Delta l}{\frac{\Delta l}{w} - \frac{\Delta l}{v}} = \frac{B \Delta H \Delta l}{\frac{\Delta l}{w} - \frac{\Delta l}{v}}. \quad (3)$$

$\Delta Q'$ — дополнительный расход воды, проходящий сквозь движущееся вместе с кромкой льда поперечное сечение реки, а ΔQ — дополнительный расход воды в неподвижном сечении реки, расположенном ниже кромки льда. Последний получается умножением $\Delta Q'$ на коэффициент $\frac{1}{1 - \frac{w}{v}}$, всегда больший единицы, так как $0 < \frac{w}{v} < 1$.

Все три формулы годятся и для расчета уменьшения расхода воды ΔQ , связанного с движением кромки льда вверх по реке. Для этого нужно знаки при w и $\Delta Q'$ заменить на обратные, не меняя знаков у ΔH и ΔF . Теперь уже величина ΔQ станет отрицательной и по абсолютному значению будет меньше $\Delta Q'$, так как $1 + \frac{w}{v} > 1$.

Величины, стоящие в правых частях всех трех равенств, относятся к кромке ледостава, находящейся на расстоянии l от устья реки, тогда как величина ΔQ , стоящая в левых частях этих равенств,

относится к рассматриваемому посту $l=l_0$ и наблюдается на $\frac{l-l_0}{v}$ позже первых величин.

Здесь и в дальнейшем местоположение поста и кромки льда будем обозначать их расстоянием от устья l . Рассматриваемый пост обозначим l_0 .

Формула (1) не теряет смысла и при $w=v$. Чтобы при этом ΔQ не получилось бесконечно большим, нужно $\Delta H=0$. Иначе говоря, движение кромки льда со скоростью течения воды возможно лишь при отсутствии падения уровня после прохождения кромки, т. е. когда лед свободно плывет по реке, не создавая подпора.

Расчеты по формулам можно заменить графическими расчетами.

На рис. 8 линия l_0AB отражает движение кромки льда вверх по реке, прошедшей за время AC путь $l_B - l_A = CB$. Обозначив через w среднюю скорость движения кромки на этом участке, найдем $\frac{CB}{w} = AC$. Произведение отрезка

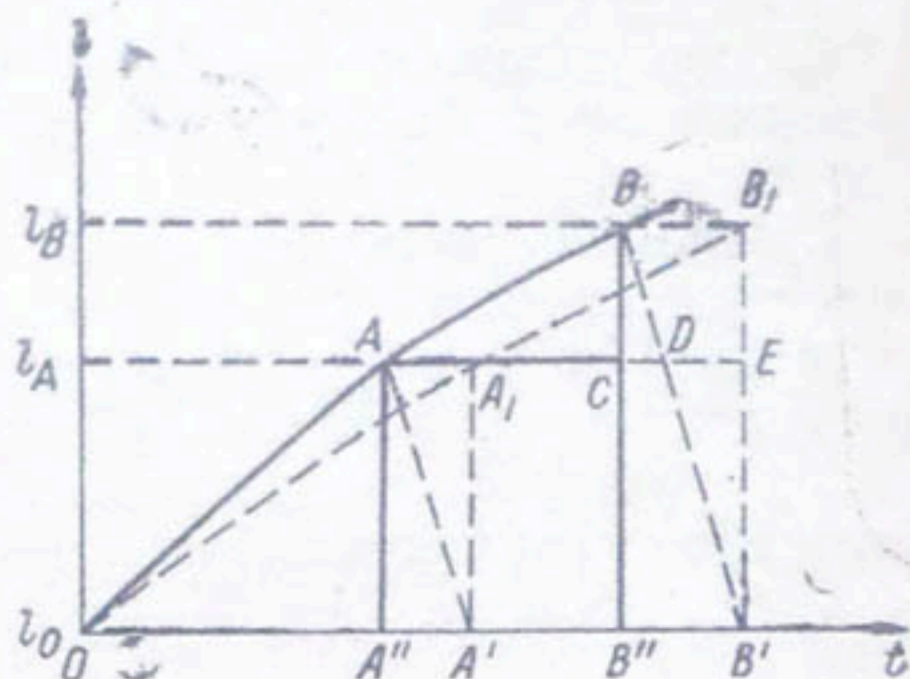


Рис. 8. Схема для расчета изменения расхода воды ΔQ в зависимости от скорости движения кромки льда w и скорости движения паводка v .

ка пути BC на среднее изменение площади водного сечения реки ΔF даст нам объем изъятой воды ΔFBC , что на посту $l=l_0$ вызовет уменьшение расхода воды в среднем на величину $\Delta Q = \Delta FBC : AD$, где $AD = A'B'$ есть время, в течение которого на посту $l=l_0$ сказывалось уменьшение расхода, связанное с движением кромки льда на протяжении отрезка пути BC . Последнюю формулу перепишем в виде

$$BC = \frac{\Delta Q}{\Delta F} \cdot AD = w' AD, \text{ или } \frac{BC}{w'} = AD$$

($w' = \frac{\Delta Q}{\Delta F}$). Точка A' изображает тот момент времени, в который начавшееся в момент времени A'' в точке A изъятие воды сказалось на посту $l=l_0$. Аналогичное значение имеет точка B' , выражающая момент прихода на тот же пост сигнала из точки B . Скорость этого сигнала v принимаем постоянной и равной скорости движения паводка (характерных точек паводка). Она будет равна $v = \frac{AA''}{A''A'} = \frac{BB''}{B''B'}$

или, вследствие подобия треугольников $A''AA'$ и CBD , $v = \frac{BC}{CD}$

и $\frac{BC}{v} = CD$.

Итак мы нашли, что $BC : \omega' = AD$, $BC : \omega = AC$, $BC : v = CD$, а так как $AD = AC + CD$, то

$$\frac{BC}{\omega'} = \frac{BC}{\omega} + \frac{BC}{v}, \quad (4)$$

или

$$\omega' = \frac{1}{\frac{1}{\omega} + \frac{1}{v}}. \quad (5)$$

После умножения на ΔF обеих частей этого уравнения получим окончательную формулу (1) для движения кромки льда вверх по реке.

Истинная скорость движения кромки льда ω (рис. 8) равна отношению отрезка пути BC к отрезку пути AC или к равному ему отрезку $A''B''$, а скорость ω' , пропорциональная величине ΔQ , которую назовем приведенной, равна отношению того же отрезка $BC = B_1E$ к отрезку $A'B'$ или к равному ему отрезку A_1E . Если бы график движения кромки льда был представлен линией $l_0A_1B_1$ (а не линией l_0AB), то величина $\omega' = \frac{BC}{A'B'} = \frac{B_1E}{A_1E}$ выражала бы скорость истинного движения кромки льда. Но точки A_1 и B_1 , через которые проходит этот новый график движения кромки, который назовем приведенным, получены путем сдвижки точек A и B вправо в направлении, параллельном оси времени, на расстояние соответственно

$$AA_1 = \frac{AA''}{v} = \frac{A_1A'}{v} \quad \text{и} \quad BB_1 = \frac{BB''}{v} = \frac{B_1B'}{v}.$$

Следовательно, приведенная скорость движения кромки льда ω' равна скорости движения кромки, полученной по приведенному графику движения.

Приведенный график движения кромки зависит от местоположения расчетного поста: чем ниже по течению реки будет взят такой пост, тем больше будет сдвижка абсцисс истинного графика. Изменение местоположения расчетного поста влечет за собою сдвижку во времени абсцисс приведенного графика. Однако один и тот же приведенный график будет годиться для любого расчетного поста, если сдвигать не сам график, а шкалу времен на величину

$$\frac{l_0 - l'_0}{v}, \quad (6)$$

где l_0 и l'_0 — расстояния до устья от старого и нового поста. Воспользуемся этим обстоятельством в дальнейшем и обозначим t' приведенное время в отличие от истинного времени t .

При приближении кромки льда к посту сверху уровень на посту за несколько дней до вскрытия начинает подниматься за счет увеличения расхода воды, связанного с движением кромки вниз по реке; в момент вскрытия уровень на посту совершает скачок вверх (рис. 9): это сказываются заторные явления, которые влияют на

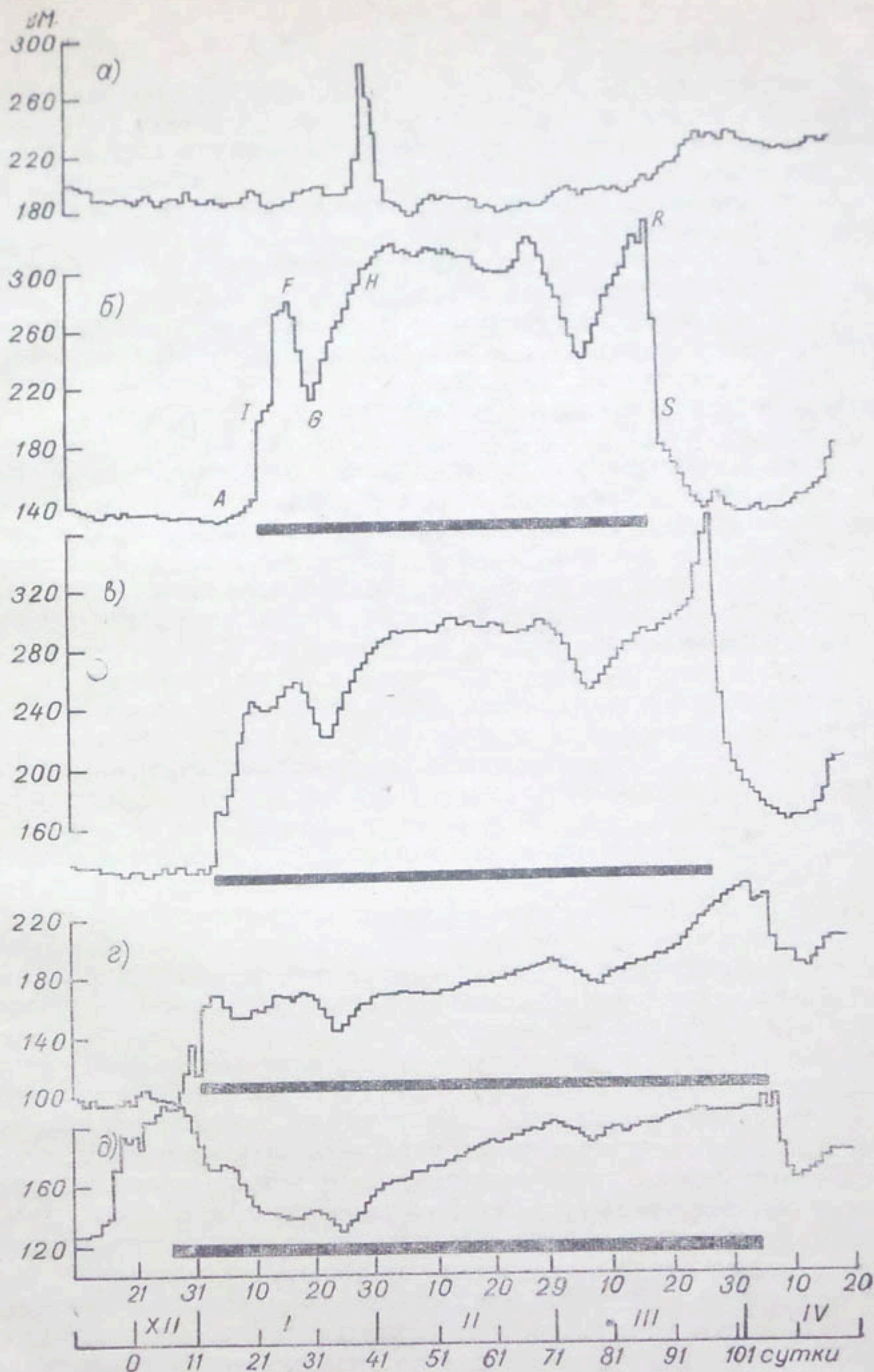


Рис. 9. Графики ежедневных уровней р. Сырдарьи зимой 1955-56 г., сдвинутые по оси времен на время добегания до пункта $l_0 = 200$ км (от устья).
Принятая скорость $v = 75$ км/сутки.

а — Чардара, 18 суток; б — Тюмень Арык, 10 суток; в — г. Кызыл-Орда, 6 суток;
г. Кармакчи, 3 суток; д — Казалинск — 1 сутки.

уровень еще день-два, после чего начинается быстрое падение уровня (рис. 9, точка *S*), и тем быстрее, чем скорее кромка льда удаляется от поста. Случается, что перед вскрытием на посту наблюдается не повышение, а понижение уровня воды. Это означает, что ниже поста на реке имелась большая полынья, увеличивающаяся в размерах, а это приводило к уменьшению подпора и тем самым к падению уровня воды на посту. Дата максимального уровня колеблется около последнего дня с ледоставом.

При замерзании реки уровень воды на посту повышается и остается всю зиму высоким, превышая меженные отметки на 1—2 м и более в зависимости от характера участка и распределения шуголедяных масс по длине реки в районе поста.

Стеснение русла ледяным покровом и подледной шугой вызывает повышение уровня на участке, покрытом льдом; выше кромки льда создается подпорное состояние уровня, причем вершина кривой подпора лежит не на самой кромке, а несколько ниже ее, что и объясняет некоторое повышение уровня после наступления ледостава в данном пункте (рис. 9, точка *F*). Это же указывает на то, что забивка русла шугой на данном участке продолжается еще и после установления ледостава [9].

Медленное повышение уровня воды обычно начинается за 2—3 дня до наступления ледостава (рис. 9, точка *A*) и объясняется нарастающим подпором со стороны кромки льда, приближающейся к посту снизу. В момент прохождения кромки или несколько позже уровень достигает частного максимума, создаваемого зажорными явлениями (рис. 9, точка *F*). Когда же кромка прошла пост и находится выше его, уровень на нем падает (рис. 9, отрезок *FG*) за счет а) уменьшения шероховатости льда и подледной шуги и б) уменьшения расхода воды. Когда кромка льда перестает двигаться вверх или начинается ее обратное движение, уровень воды снова повышается. В дальнейшем он претерпевает различные изменения. Описанный характер хода уровня воды при замерзании реки в данном пункте не является единственным, хотя и наблюдается наиболее часто. Иногда наибольший уровень наблюдается в день замерзания реки. Это может быть объяснено тем, что ледоставный зажор (затвор) был особенно мощным и располагался непосредственно на посту или несколько ниже поста, или же кромка льда, пройдя несколько выше створа поста, остановилась и дальше не пошла, а из-за этого обычное уменьшение расхода не наблюдалось. Место остановки кромки льда, пожалуй, наиболее благоприятно для образования мощного зажора, во-первых, по только что указанной причине, т. е. отсутствия послеледоставного уменьшения расхода воды, и, во-вторых, из-за продолжающегося зашуговывания русла. Когда кромка льда уходит вверх по течению, то зашуговывание русла в данном пункте прекращается из-за отсутствия материала, так как образовавшиеся выше перемычки задерживают подход транзитной шуги. Когда же кромка льда останавливается вследствие наступившего потепления, но шугоход еще продолжается, хотя

и более редкий, чем раньше, то зашугивание русла будет продолжаться, вызывая повышение уровня. Именно в значительной мере по этой причине наблюдался очень высокий подъем уровня воды в р. Сырдарье у Кызыл-Орды в декабре 1953 г.

Формула (1) выведена в предположении, что вода, освободившаяся выше кромки льда и получившая ускорение благодаря уменьшившемуся сопротивлению, уходит под лед без создания дополнительного подпора на его кромке. На самом деле дополнительный подпор на кромке льда должен существовать, чтобы протолкнуть большее количество воды через то же самое водное сечение.

Подпор создается благодаря разности $v - w$ и усиливается затормаживающими явлениями, происходящими на кромке льда. Таким образом, кромку льда при движении ее вниз по реке сопровождает водяной вал, который на Сырдарье наблюдается почти всегда. Вала не бывает, когда ниже по течению река вскрывается раньше, чем на посту. У поста же остается ледяная перемычка, которая вскрывается спокойно, иногда при падающем уровне воды.

Итак, чтобы получить изменение расхода воды, вызванное движением кромки льда на посту $l = l_0$, необходимо выполнить следующие операции:

1) построить график движения кромки льда, т. е. зависимость расстояния от кромки до устья реки от времени $l = f(t)$ (см. рис. 8);

2) наметить на этом графике переломные точки и определить их координаты t_i и l_i (i — номера точек);

3) провести сдвигку этих точек вправо параллельно оси времени на расстояния

$$t'_i - t_i = \frac{l_i - l_0}{v}, \quad (7)$$

где штрихом помечены моменты времени t'_i , относящиеся к посту $l = l_0$ и соответствующие точкам положения кромки льда в моменты t_i ;

4) вычислить разности ординат

$$w'_j = l'_{j+1} - l'_j, \quad (8)$$

соответствующие суточным промежуткам времени $t'_{j+1} - t'_j = 1$ суткам. Предполагается, что i и j при l' и t' относятся к началу каждых суток, а при w' — к середине суток;

5) изменение расхода ΔQ в м³/сек. вычисляется по формуле

$$\Delta Q = \frac{B \Delta H}{86,4} w' = \frac{\Delta F}{86,4} w', \quad (9)$$

где B — ширина реки в метрах, ΔH — изменение уровня в метрах, $\Delta F = B \Delta H$, w' — приведенная скорость движения кромки льда

в км/сутки, вычисляемая по формуле (8), $\frac{1}{86,4}$ — коэффициент перехода от одних единиц измерения к другим.

Если известны ежедневные изменения расходов воды на некотором посту, вызванные движением кромки льда, то можно восстановить график движения кромки льда, проведя ход вычисления в обратном порядке, а именно:

1) по формуле

$$\omega'_j = 86,4 \frac{\Delta Q_j}{\Delta F},$$

являющейся обращенной формулой (9), находим приведенную скорость движения кромки ω' , равную суточному перемещению приведенной кромки льда

$$\omega'_j = l'_{j+1} - l'_j,$$

где j — календарная дата, относящаяся к посту;

2) суммируя последнюю величину ω'_j и полагая $j=0, 1, 2, \dots$, найдем ординаты приведенного графика движения кромки льда;

3) сдвинув характерные точки этого графика влево, т. е. по оси времен на расстояние

$$t_i - t'_i = - \frac{l'_i - l'_0}{v} = - \frac{l_i - l_0}{v},$$

получим искомый график движения кромки льда. Здесь i — номера характерных точек, а штрихи относятся к координатам приведенной кривой движения кромки льда, буквенные обозначения без штрихов — к координатам графика действительного движения кромки льда, величина l_0 , которую можно положить равной нулю, есть расстояние до поста от некоторой постоянной точки на реке, считая вверх по течению.

2. Иллюстрация теории на материале зимы 1957-58 г.

По р. Сырдарье было сделано много ледовых авиаразведок, причем за отдельные зимы при вскрытии реки они делались ежедневно. Это дало нам возможность вычислить скорость движения кромки льда ω и по ней изменение расхода ΔQ . Однако проверка описанной выше теории затрудняется тем, что в период ледохода и ледостава нет надежных ежедневных данных о расходах воды, особенно в дни, близкие к вскрытию и замерзанию реки, когда ежедневные расходы чаще всего определяются линейной интерполяцией во времени от одного измерения расхода к другому. Совершенно очевидно, что такие данные никак не могут отражать истинное изменение расхода воды во времени. К счастью, зимой 1957-58 г. река замерзала

ниже и выше Тюмень-Арыка, но на самом посту Тюмень-Арыке (расстояние от устья 972 км) ледостава не было: просто при скачкообразном движении вверх по реке кромка льда «перескочила» этот пост, оставив его в полынье, которая так и не замерзла в эту зиму. Благодаря этому уровень на посту Тюмень-Арыке не был подпорным и ежедневные расходы можно было вычислять по летней кривой. Не было ледостава и на соседнем (вверх по течению) посту Утрабате (1334 км от устья). О том, что между Тюмень-Арыком и Утрабатом река местами замерзала, мы судим по сильному повышению уровня воды, которое наблюдалось с 4 по 7 января в Утрабате. В течение двух следующих дней уровень в Утрабате вернулся в исходное низкое положение. Значит 7 января наблюдалось наивысшее положение кромки ледостава.

В Тюмень-Арыке 29 декабря уровень воды сильно снизился: в этот день образовалась ледяная перемычка где-то несколько выше этого поста. Уровень на посту держался низким до 8 января, после чего вода стала подниматься, означая остановку кромки при ее движении вверх по реке. Если учесть, что расстояние между Тюмень-Арыком и Утрабатом составляет 292 км и равноценно 3—4 дням пробега, то остановка движения кромки льда должна была бы произойти 6 января (9 января минус три дня). На самом деле, как мы видели, это произошло 7 января несколько ниже Утрабата, т. е. теория в отношении сроков подтвердилась довольно точно.

Ход изменений ежедневных расходов в Тюмень-Арыке представлен на рис. 10. Оказалось, что ко времени высшего положения кромки льда на участке длиной 351 км было задержано в русле реки и в разливах 186 млн. м³ воды. Если считать, что на всем участке уровень воды поднимался на такую же величину, на какую он поднимался на посту Утрабате (130 см), то ширина реки должна составлять в среднем 400 м, что в полтора раза больше средней ширины реки при ледоставе на постах (250 м). Этого следовало ожидать, так как, во-первых, посты открываются обычно в узких местах реки, а, во-вторых, много воды уходит в разливы, что также ведет к увеличению средней расчетной ширины реки, которую поэтому следовало бы назвать действующей, или эффективной.

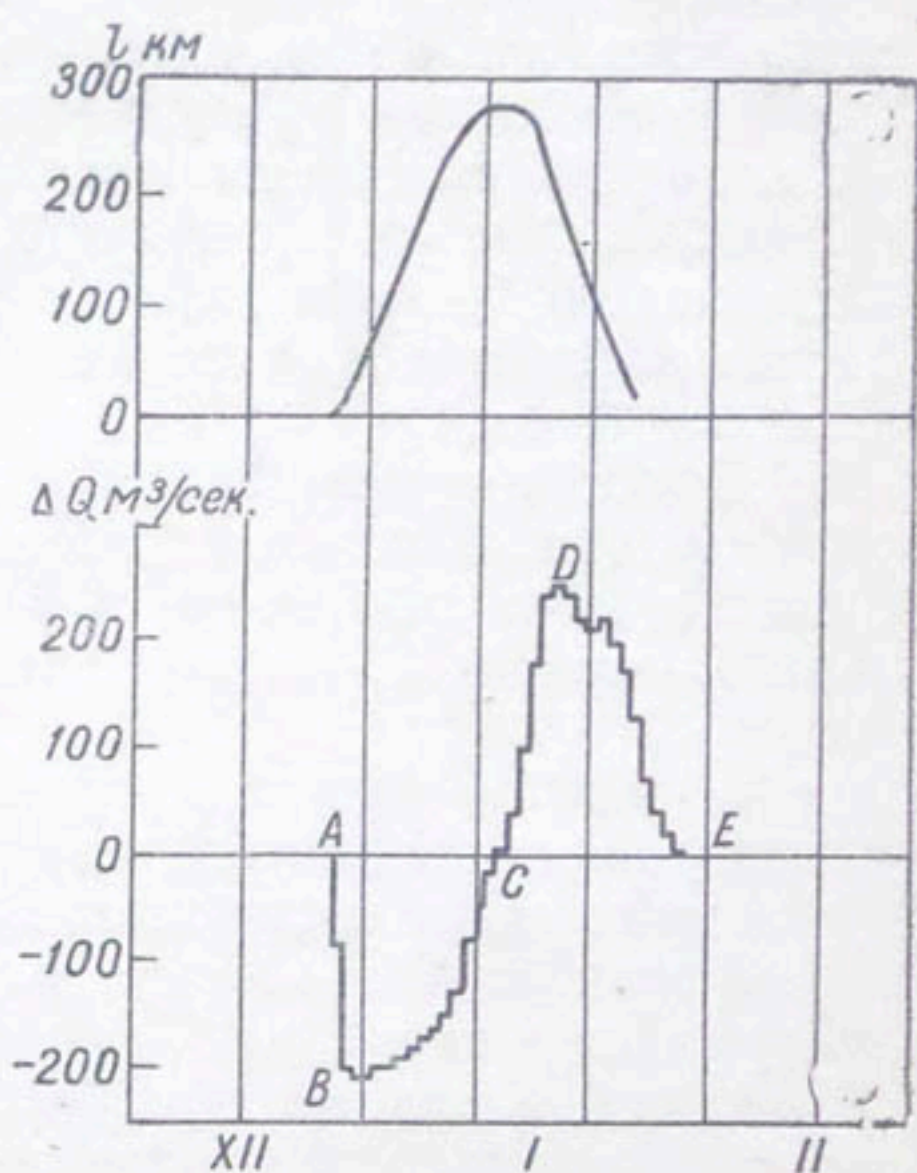


Рис. 10. Регулирование стока (ΔQ) во время движения кромки льда (l) на р. Сырдарье. Пост Тюмень-Арык, зима 1957-58 г.

На том же рис. 10 изображен график движения кромки льда, ординаты которого l_j рассчитаны по указанным выше правилам, сводящимся к формуле

$$l_j = -\frac{86,4}{\Delta F} \sum_1^j \Delta Q_j = -0,13 \sum_1^j \Delta Q_j \quad (j = 1, 2, \dots).$$

Сравнение уточненных расчетов с предварительными показывает некоторое расхождение между ними, но оно незначительно. Существенный недостаток расчета состоит в том, что зарегулированная вода фактически продолжала поступать к посту Тюмень-Арык до 28 января, тогда как зарегулированные запасы теоретически были израсходованы еще 24 января, из-за чего нисходящая ветвь теоретического графика движения кромки льда оказалась сдвинутой влево. Однако подобные погрешности неизбежны при том количестве и качестве информации, которые мы получаем с сети гидрологических станций (постов).

Полученные результаты говорят о сильном влиянии руслового регулирования стока на расход и уровень воды в реке зимой: движение кромки льда вверх по реке вызывало снижение уровня в Тюмень-Арыке на 65 см и уменьшение расхода воды больше чем на 30%.

Рисунок 10 являет пример хорошо выраженного естественного регулирования стока благодаря движению кромки льда. Для графика этого рисунка характерны:

а) ровный ход расхода перед ледоставом (нулевая линия на графике до точки A);

б) резкое уменьшение расхода (линия AB) после образования выше поста ледостава (точка A) с последующим более плавным восстановлением расхода (линия BC) до исходного значения (точка C);

в) рост расхода (линия CD), вызванный сливом избытка воды в русло при обратном движении кромки льда; точка D характеризует наиболее интенсивный слив воды в меженное русло;

г) продолжение слива, но более медленное (DE); в точке E заканчивается слив воды в меженное русло и второе возвращение расхода в исходное значение (точка E).

3. Расчет изменения расхода воды, вызванного движением кромки льда зимой 1955-56 г.

Попытаемся теперь рассчитать регулирующее влияние на сток воды движения кромки льда зимой 1955-56 г., когда было проведено довольно много наблюдений над положением кромки льда.

На рис. 11 точками нанесены наблюдаемые значения местоположения кромки льда в расстояниях от устья l и дат, в которые эти наблюдения были сделаны. Через точки проведена гладкая кривая l —

график фактического движения кромки. Для времени сделаны две шкалы, из которых одна обычная, календарная, другая в виде числа дней t , прошедших с 20 декабря.

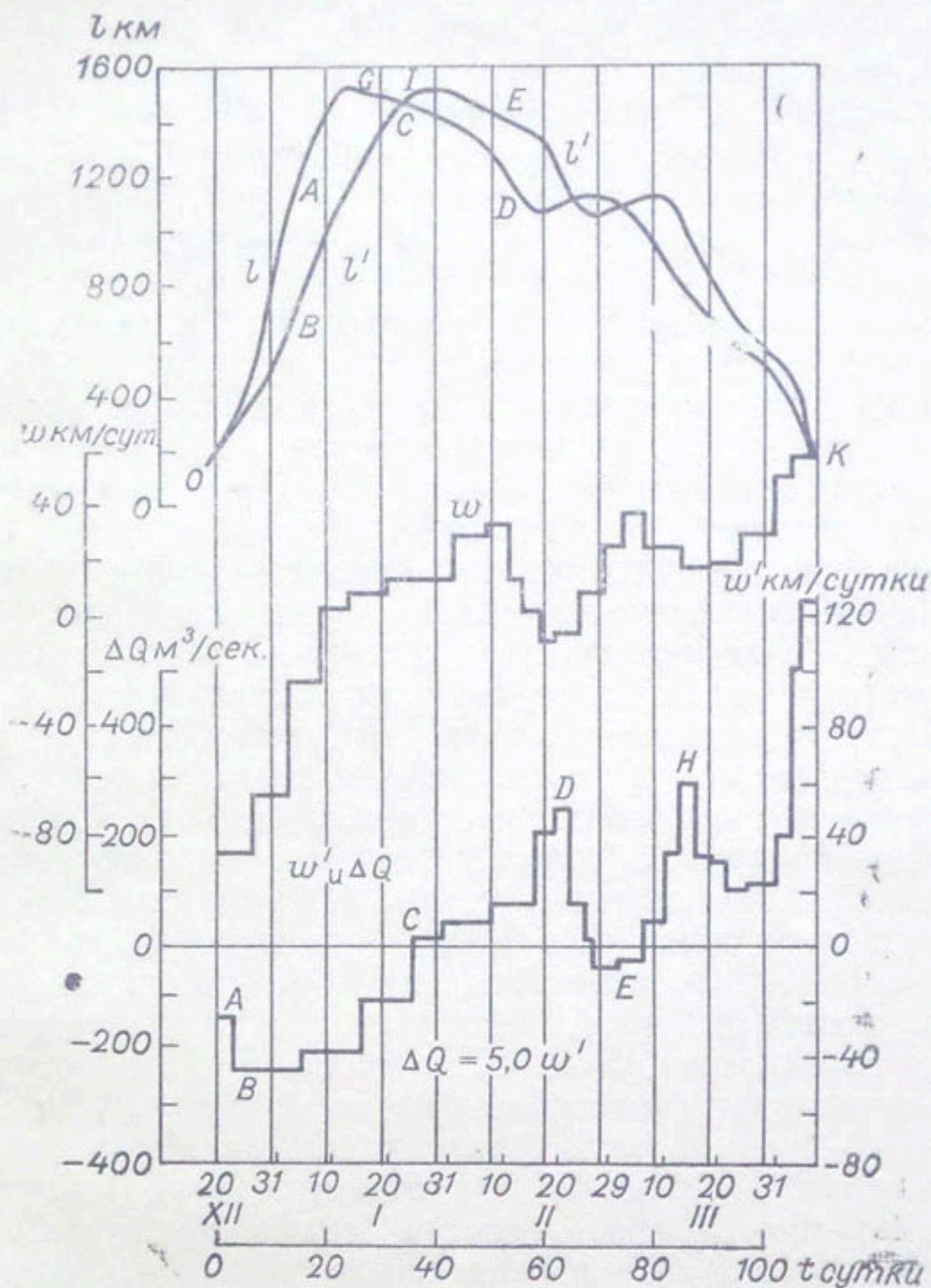


Рис. 11. Хронологические графики (истинный l и смещенный l') движения кромки льда, скорости движения кромки льда (w), приведенной скорости движения кромки льда и зарегулированного расхода (w' и ΔQ) зимой 1955-56 г.

Здесь же изображен график приведенного движения кромки l' . Он получен из графика l путем сдвигки каждой точки его параллельно оси времени на величину $\frac{l-150}{100}$. Например, точка с координатами $t=14$ (3/I) и $l=1100$ км передвинулась на 9 суток вправо в точку с координатами $t'=23$ (12/I) и $l'=l=1100$ км. Начальная

координата $l_0 = 150$ км от устья соответствует посту Казалинск. Величины w' и ΔQ отнесены к этому же посту.

По графику l' можно вычислить приведенную среднюю скорость движения кромки w' для любого промежутка времени или участка реки. Например, для $t'_1 = 15$ и $t'_2 = 26$ находим $l'_1 = 740$ и $l'_2 = 1200$, откуда $w' = \frac{460}{11} = 42$ км/сутки. Для рис. 11 скорости w' вычислены применительно к точкам фактических наблюдений за кромкой льда, а прибавка к расходу — по формуле

$$\Delta Q = 0,01155 \Delta F w' = 0,01155 \cdot 400 w' \approx 5 w',$$

где 0,01155 — коэффициент для перехода от километров и суток к метрам и секундам (ΔQ в м³/сек.).

На рис. 11 для сравнения приведена истинная скорость w движения кромки льда. Приведенная скорость w' есть изменение расхода воды в створе $l_0 = 150$ км за сутки, вызванное движением кромки льда при условии, что скорость пробега v паводка постоянна и равна 100 км/сутки и что площадь водного сечения в том месте, где наблюдалось движение кромки льда, равнялась 1 м².

Величина ΔQ рассчитана при условии, что паводок при движении его вниз по реке не претерпевает никаких изменений. Например, если превышение вершины паводка над его подошвой составило 300 м³/сек., то она такой и останется на всем протяжении его движения от кромки, где паводок сформировался, до 150-го км реки, где за ним наблюдают. На самом деле паводок претерпевает деформацию (о чем будет идти речь в главе IV), которую мы пока не учитываем, не желая усложнять и без того сложное явление.

Это упрощение позволяет величину ΔQ , отнесенную на графике к $l = 150$ км, переносить на любой другой пункт путем сдвижки шкалы времени на величину $(l - 150) : v$ суток.

Сделаем некоторые выводы из приведенных материалов.

Истинная и приведенная скорости движения кромки льда (w и w') существенно отличаются друг от друга (рис. 11): отрицательные паводки (конец декабря — январь) сильно растягиваются, а положительные (третья декада февраля и вторая марта) сильно сжимаются, вытягиваясь кверху. Это обстоятельство должно иметь большое значение в формировании максимальных расходов во время вскрытия реки. Однако, как известно, очень «узкие» паводки имеют и очень большую способность к распластыванию при движении их вниз по реке.

Расходы ΔQ , полученные расчетом для зимы 1955-56 г., в общем представляют величины того же порядка, что и фактически наблюдаемые в Тюмень-Арыке зимой 1957-58 г., за исключением максимальных расходов, которые в первую зиму были существенно больше, чем во вторую.

Когда кромка льда при ее весеннем движении приближается к Казалинску, величина ΔQ становится непомерно большой из-за малой разницы между величинами v и w , что может быть объяснено

или тем, что скорость движения паводка $v = 75$ км/час была принята слишком малой, или мало было падение уровня, или кромка льда действительно движется со скоростью паводка без снижения уровня воды. В самом деле, падение уровня после вскрытия у Казалинска и Кармакчи составило всего 60 см вместо 145—160 см расчетных.

При пересчете на $v = 100$ км/сутки высшая величина ΔQ снизилась до $600 \text{ м}^3/\text{сек.}$, что уже близко к действительной, так как в первые дни апреля расход воды у Казалинска поднялся примерно на эту же величину и достиг $1040 \text{ м}^3/\text{сек.}$, что на $500 \text{ м}^3/\text{сек.}$ больше, чем в соответственное время в Кок-Булаке. Как можно видеть, приближение теории к действительности оказалось хорошим, причем это случилось на критическом режиме, при котором эмпирические расчеты обычно не действуют. Рис. 11 как раз и был построен в расчете на $v = 100$ км/сутки (график для $v = 75$ км/сутки здесь не приводится).

Не следует слишком доверять и расчету для самого нижнего течения реки. На этом участке Сырдарьи в течение всего года наблюдается сильное распластывание паводков, приходящих сверху, создавая затруднение при составлении прогнозов ежедневных уровней воды. Поэтому пока большее внимание будем уделять верхним участкам реки, где явления менее усложнены.

Дадим еще одну интерпретацию рис. 11. Ордината любой точки A графика действительного движения кромки льда (здесь 1160), уменьшенная на ординату точки O (здесь 150, пост Казалинск), представляет собою объем воды, зарегулированный (изъятый из стока) на участке от поста Казалинска до кромки льда и выраженный в некоторых единицах объема (так как если это расстояние в метрах умножить на среднее увеличение площади водного сечения в квадратных метрах, то получим тот же объем воды в кубометрах) за время, равное разности абсцисс указанных точек A и O (здесь с 18/XII по 4/I или от $t_0 = -2$ до $t_A = 15$ суток) приведенного графика движения кромки.

С другой стороны, ордината точки B (здесь 740) приведенного графика движения кромки, уменьшенная на ординату точки O (150), дает в тех же единицах ту часть указанного объема ($740 - 150 = 590$), которая должна была сказаться на посту Казалинске в виде уменьшения расходов воды. Остальная часть этого объема (отрезок $AB = 1160 - 740 = 420$ единиц) еще не успела сказаться на посту Казалинске в виде уменьшения расхода воды за счет естественного регулирования. Аналогичный смысл имеет отрезок DE : он пропорционален объему воды, который не успел сказаться на посту Казалинске в виде увеличения (а не уменьшения) расхода воды за счет такого же регулирования.

Превышение точки G над точкой D , равное 320 единиц, представляет тот объем воды, который вернулся из разливов в сток. Из него через створ поста Казалинска прошло только 100 единиц (превышение G над E), остальные 220 единиц (отрезок DE) пока находятся еще в русле на участке от 150 км до 1200 км (точка D).

Точка G характеризует наибольшее количество аккумулярованной воды в реке, до момента t_G вода в русле продолжала еще накапливаться, отчего расход воды в створе несколько ниже кромки льда продолжал оставаться меньше расхода Q_0 воды, поступающей сверху к кромке. После этого количество аккумулярованной воды стало убывать, отчего расход воды в створе несколько ниже кромки стал больше расхода Q_0 воды, поступающей к кромке. Но в Казалинске расход воды продолжал оставаться меньше Q_0 до $t_I = 37$, после чего расход на этом посту стал больше Q_0 . Точка K характеризует момент времени t_K , к которому вся вода, зарегулированная выше Казалинска, успела слиться.

Сказанное справедливо, как указывалось выше, при условии, что изменение площади водного сечения ΔF и скорость движения паводков v за все время ледостава на всем протяжении реки оставались неизменными. Предполагалось, что всякое изменение расхода воды на кромке и в створе несколько ниже кромки немедленно распространялось вниз по реке также в неизменном виде с постоянной скоростью v .

Принятие столь грубых условий продиктовано необходимостью хоть сколько-нибудь разобраться в происходящих весьма сложных явлениях, так как отклонение действительности от теории дает нам материал для выявления неучитываемых пока факторов.

Для оценки степени согласия теории и действительности рекомендуется сравнение графиков, изображенных на рис. 12, с графиком ΔQ на рис. 11.

На рис. 12 даны графики средних суточных расходов воды (гидрографы) по пяти основным постам. Графики по другим постам и за другие зимы здесь не приводятся из-за экономии места. Часть расходов представлена фактически измеренными расходами (крестики), часть получена по кривым расходов, а часть — путем простой интерполяции во времени между измеренными расходами, но с учетом хода уровня воды, как, например, по линии AB для поста Тюмень-Арык. Гидрографы (рис. 12), построенные на этой временами мало точной основе, все же дают довольно правдоподобную картину действительного изменения стока; хотя в некоторых случаях картина эта оказывается в значительной мере искаженной.

Для удобства сравнения соответственные характерные точки графиков рис. 11 и 12 обозначены одинаковыми буквами.

Гидрограф поста Кок-Булак, на котором ледостава не было, приведен для того, чтобы показать, что приток воды из водосбора изменялся мало и поэтому не может служить объяснением больших колебаний расходов воды на постах Тюмень-Арык, Кзыл-Орда и др.

На гидрографах зимы 1955-56 г. (рис. 12) и графике ΔQ (рис. 11) хорошо отражено осеннее падение расходов воды (отрезок AB), связанное с движением кромки льда вверх по реке, и последующее увеличение расходов (BD), вызванное остановкой движения кромки и началом ее весеннего движения вниз, а также глу-

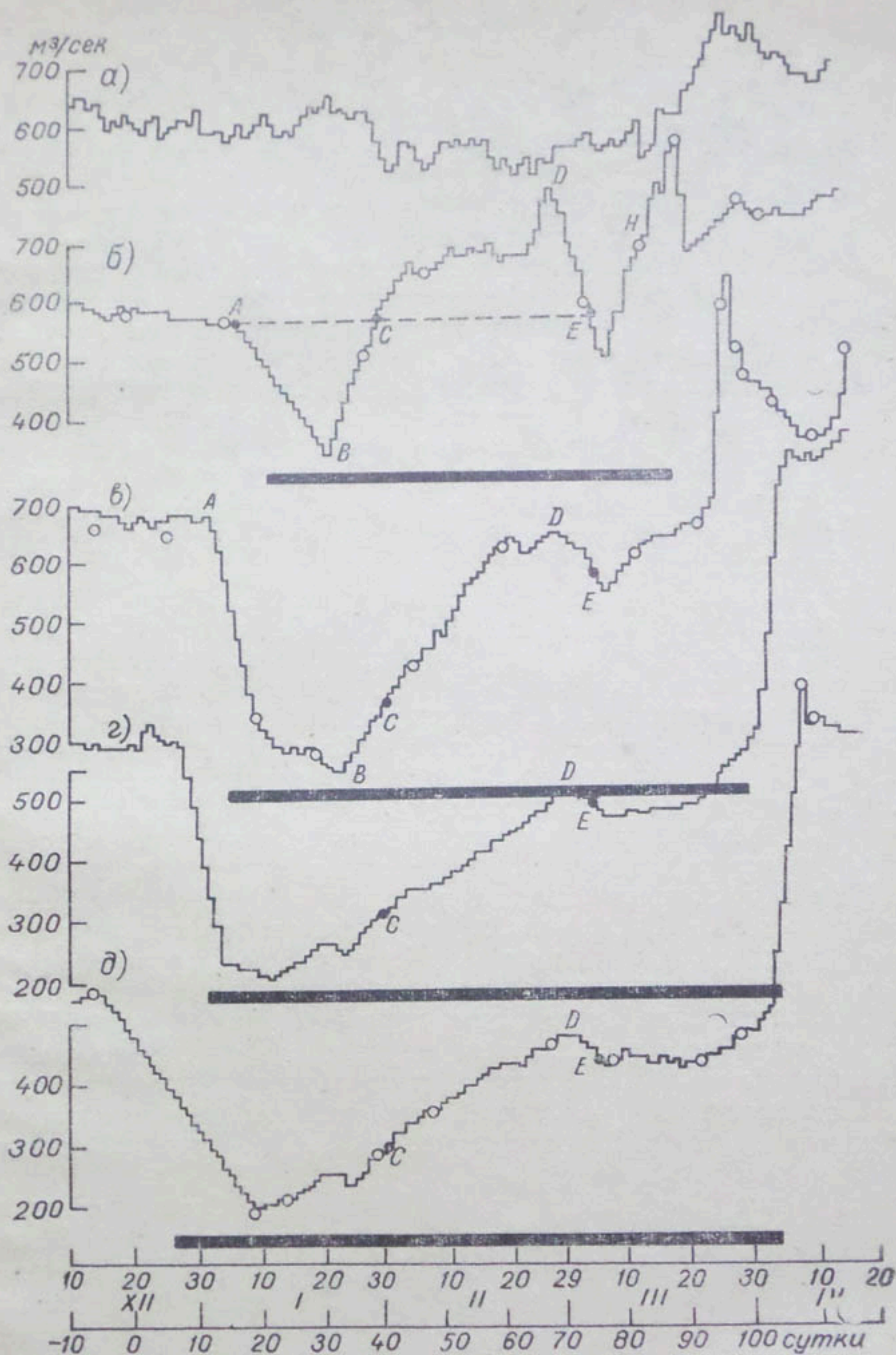


Рис. 12. Графики ежедневных расходов р. Сырдарьи зимой 1955-56 г., сдвинутые по оси времен на время добегания паводка от поста до пункта $l_0=200$ км со скоростью $v=75$ км/сут.
а — Кок-Булак, б — Тюмень-Арык, в — г. Кызыл-Орда, г — Кармакчи, д — г. Казалинск.

бокая впадина в конце зимы (*DEH*), связанная с возвратом холодов и, как следствие, с временным возвращением кромки льда в более южные широты.

Указанные изменения расходов воды наиболее отчетливо проявились на самом верхнем посту Тюмень-Арык (на выше расположенных постах расходы не измеряются); ниже они становятся расплывчатыми.

Латинскими буквами обозначены некоторые характерные точки гидрографа. Рассмотрим их применительно к посту Тюмень-Арык.

Точка *A* характеризует предледоставный меженный расход воды в реке. Если считать, что при отсутствии ледостава расход воды в реке оставался бы неизменно таким же, каким он был в точке *A*, то в промежуток времени от *A* до *C* при ледоставе должно было происходить наполнение русловых и пойменных емкостей выше поста Тюмень-Арык, а за время от *C* до *E* освобождение этих емкостей. В таком случае площадь фигуры *ABC* обозначала бы объем зарегулированной воды, а площадь фигуры *CDE* — объем слившейся воды. Оба объема должны были бы быть равны, если бы не было других обстоятельств, и прежде всего низкой точности определения ежедневных расходов воды.

Линия спада *AB* проведена слишком полого (более правдоподобно она проведена для поста Кзыл-Орды), отчего площадь фигуры *ABC* (пост Тюмень-Арык) занижена. Точка *C*, характеризующая прекращение аккумуляции воды и начало опорожнения ранее заполненных емкостей, определена величиной расхода воды в момент времени, изображаемый точкой *A*. Ошибка же в расходе воды всего на 10% (что весьма вероятно) могла повлечь ошибку во времени и тем самым в площадях фигур *ABC* и *CDE* (рис. 12) на значительно большую относительную величину и тем самым существенно изменить соотношение между этими площадями.

По нашей элементарной теории, точке *C* отвечает остановка кромки льда. Но если кромка останавливается, то или прекращается наполнение русловых и пойменных емкостей (при условии, что кромка до этого двигалась вверх), или прекращается опорожнение этих емкостей (если ранее кромка двигалась вниз по реке). В том случае, когда кромка льда стоит на месте в течение нескольких дней, как это и наблюдается в действительности, по теории в течение соответствующего числа дней не должен меняться и расход воды на данном посту. В таком случае точка *C* должна быть точкой перегиба гидрографа.

Но на гидрографе поста Тюмень-Арыка точка *C* с координатами $t=40$ и $Q=560$ не является точкой перегиба: к последней больше подходит точка с координатами $t=47$ и $Q=640$. Но она не может быть точкой *C*, так как ее ордината Q должна быть меньше $560 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Действительно, при расходе $560 \text{ м}^3/\text{сек}$. во время замерзания реки вода разливалась по пойме. Следовательно, возвращаться в русло она может только при меньшем наполнении русла, т. е. при

расходе меньше $560 \text{ м}^3/\text{сек}$. Отсюда можно сделать вывод, что гидрограф определен не настолько правильно, чтобы на нем можно было надежно найти точку C .

На гидрографах постов, расположенных ниже Тюмень-Арыка, точки C вовсе не оказались, так как на этих постах расход воды всю зиму ни разу не достигал предледоставной величины. Формально эта точка падает на момент вскрытия, которое в рассматриваемую весну 1956 г. совпало с началом паводков, что тем самым затруднило дальнейший анализ гидрографов. На гидрографах этих постов абсциссы точек C и E взяты одинаковыми, такими же как и для поста Тюмень-Арыка.

Итак, в рассмотренную зиму 1955-56 г. на постах ниже Тюмень-Арыка имелся «отрицательный» паводок, но не было компенсационного положительного паводка, как будто вода, выходя из берегов, обратно в русло не возвращалась (рис. 12).

Описанное явление можно было бы объяснить уменьшением поступления воды из водосбора. Но для этого потребовалось бы, чтобы расход воды в Кок-Булаке в январе и феврале снизился по крайней мере на $300 \text{ м}^3/\text{сек}$. С 21 декабря по 10 февраля в Кок-Булаке действительно наблюдалось уменьшение расхода воды, но оно составило всего $60 \text{ м}^3/\text{сек}$.; таким образом, эта причина отпадает.

На посту Тюмень-Арыке компенсационный паводок (фигура CDE на рис. 12), как мы видим, проявился в более чем полной мере, тогда как на ниже расположенных постах такого паводка не было. Чтобы был компенсационный паводок, например, на посту Кзыл-Орде необходимо, чтобы точки C и E на гидрографе этого поста (рис. 12) лежали на уровне точки A , т. е. первую точку нужно было поднять примерно на $300 \text{ м}^3/\text{сек}$., а вторую на $100 \text{ м}^3/\text{сек}$. Таким образом, низкие расходы воды на постах нижнего течения реки в зимнее время нельзя объяснить уменьшением поступления воды из водосбора. Нельзя объяснить их и ошибками измерений. Остается предположить, что вода реки, вышедшая из берегов при ледоставе, частью безвозвратно теряется на испарение в многочисленных озерах, расположенных по берегам реки, частью возвращается обратно в реку. Возвращение происходит двумя этапами: постепенно в течение всей зимы и быстро во время вскрытия реки.

Если предположить, что безвозвратные потери отсутствуют, то для поста Казалинска можно сделать следующие расчеты. Примерно с 16 декабря расход начал падать от величины $530 \text{ м}^3/\text{сек}$., 3 апреля этот расход восстановился, т. е. пониженный расход держался 109 суток, после чего начался компенсационный паводок. За это время сумма средних суточных расходов составила 40 729; отняв $530 \cdot 109 = 57\,770$, получим дефицит суммы расходов 17 041, умножив который на 86 400, найдем дефицит стока равным $1470 \cdot 10^6 \text{ м}^3$. Оказывается, что этот дефицит стока покрывается с избытком в течение двух первых декад апреля. Расход воды в Сыр-Дарье со 2 по 9 апреля увеличился с 500 до $1000 \text{ м}^3/\text{сек}$. и ниже $900 \text{ м}^3/\text{сек}$. не падал весь апрель, тогда как в Кок-Булаке увеличение расходов

в соответствующие дни не превышало $200 \text{ м}^3/\text{сек}$. Не было большого увеличения расхода и в Тюмень-Арыке. Эти расчеты справедливы при условии, что гидрометрические данные достаточно точны, или по крайней мере при ледоставе не сильно занижены, а при открытом русле не сильно завышены.

Из высказанной гипотезы вытекает, что чем больше воды аккумуляровалось в русле и в разливах до вскрытия реки, тем больше при прочих равных условиях будет расход воды во время вскрытия.

Так как графики ежедневных расходов воды сильно отягощены ошибками измерения и интерполяции, то полезно вернуться к анализу графиков ежедневных уровней, которые дают картину в некоторых отношениях более понятную, чем графики расходов. Изображенные на рис. 9 уровни воды на ряде постов взяты за ту же зиму 1955-56 г., что и расходы воды на рис. 12, что позволяет сравнить оба графика. Ранее высказанная гипотеза о причине колебания уровня воды в первые дни ледостава может быть развита следующим образом.

В самые первые дни ледостава зажорные явления проявляются сильнее всего (собственно зажор), а если в это время в некоторые годы уровень воды не является самым высоким за первую половину зимы, то это может быть объяснено уменьшенным расходом воды. Через некоторое время положение шуги и льдин в зажоре упорядочивается (собственно зажор ликвидируется), подпор становится меньше и уровень начинает падать (отрезок FG на рис. 9, пост Тюмень-Арык). Но потом движение кромки льда прекращается, расход, восстанавливаясь, начинает расти (точка G) пока не достигает частного максимума (точка H), обусловленного величиной расхода воды и состоянием ледяного покрова. Точка F потому и находится ниже точки H , что она наблюдалась при пониженном расходе, тогда как точке H соответствовал нормальный расход. Если бы эти расходы были одинаковыми, то точка F была бы выше точки H примерно на величину падения FG . Если бы не было начального чрезмерного зажорного состояния, то не было бы «паводка» IFG .

Этой гипотезе противоречат два факта. Во-первых, снижения FG не было на посту Байракум и, во-вторых, впадина FGH хорошо прослеживается на всех ниже расположенных постах через продолжительное время после начала ледостава, что указывает на ее «расходное», а не подпорное происхождение. Остается допустить, что описанная впадина обязана своим происхождением не столько уменьшившемуся сопротивлению течению воды в зажоре, сколько разливу реки где-то между постами Ак-Кумом (1042 км) и Утрабатом (1245 км). Подобный разлив автору удалось наблюдать на правом берегу реки несколько выше поста Ак-Кума во время ледовой авиаразведки.

Если эта гипотеза подтвердится на более обширном материале, то появится возможность вести борьбу с наводнениями в опасных местах путем создания искусственных разливов, так как естественные разливы приводили к значительному падению уровня. Так, опи-

санный разлив рек повлек падение уровня реки в Ак-Куме на 80—100 см, в Тюмень-Арыке на 70—110 см, в Кызыл-Орде на 40—70 см, в Кара-Узяке на 40—60 см, в Кармакчах на 25 см и в Калининске на 15 см. Здесь первые числа обозначают спад (FG), а вторые — подъем (GH).

4. Результаты анализа нескольких зим

На основе анализа значений уровня и расхода воды, взятых из гидрологического ежегодника, за две зимы (1955-56 и 1957-58 гг.) мы пришли к заключению о большом регулирующем влиянии на сток движущейся кромки льда. Аналогичное наблюдалось и в другие зимы (табл. 9).

Точность приведенных здесь данных невелика, но однообразный характер изменения расходов при переходе от поста к посту и от года к году позволяет считать, что описанная закономерность в изменении расходов в течение зимы и порядок величины этого изменения не случайны. В среднем расход воды перед ледоставом составляет около 600 м³/сек.; сразу после установления ледостава он падает примерно до 300 м³/сек. и в момент вскрытия снова поднимается до 800 м³/сек. Падение расхода составляет около 200—400 м³/сек., а возрастание — около 300—800 м³/сек. В некоторые зимы (1953-54 г.) падение расхода превышало 700 м³/сек., а весенний подъем достигал 900 м³/сек. В многоводные зимы эти величины увеличиваются, в маловодные — уменьшаются. Наиболее устойчивы минимальные расходы. Они колеблются около 300 м³/сек., но в маловодные годы снижаются до 150—200 м³/сек. (1961-62 г.).

Подробно изучая имеющиеся сведения о движении кромки льда, о температуре воздуха, воды и особенно об ежедневных уровнях и расходах воды, мы пришли к заключению, что эти материалы позволяют до некоторой степени воспроизводить действительную картину ледовых явлений, наблюдать которую непосредственно было бы просто невозможно. Однако достаточно хорошего количественного описания, чтобы заранее можно было бы простым способом предсказывать уровень или расход воды в реке достаточно точно, нам найти не удалось, несмотря на большие усилия. Чтобы понять явления, происходящие на реке, а затем что-то предсказать (по методу аналогий), нужно делать каждый раз подробный анализ сложившейся ситуации, примерно так же как это делают синоптики при составлении прогноза погоды на сутки вперед. Такой анализ нами был проведен по хронологическим графикам ежедневных уровней и расходов воды за многие зимы; здесь же приводятся лишь некоторые выводы из него, касающиеся главным образом расходов и уровней воды при вскрытии реки. В это время, как указывалось, происходит слив воды в русло из запасов, накопленных во время замерзания реки, и, как следствие, образование паводков (назовем их паводками вскрытия), иногда очень больших, без дополни-

Расходы воды (Q м³/сек.) в начале, середине (наименьшие) и в конце ледостава
(многолетние выводы за 1950-51—1961-62 гг.)

	Предледаоставный период		Наименьший		Вскрытие				Разность	
					первый день без ледостава		наибольший			
	Q	дата	Q	дата	Q	дата	Q	дата	спад	подъе

Тюмень-Арык										
Число случаев	10		10		10		10		10	10
Наименьший, ранняя . .	316	23/XI	254	3/XII	413	26/I	479	29/I	99	160
Год	1962	1950	1950	1950	1962	1959	1962	1959	1961	1958
Наибольший, поздняя	850	16/I	513	27/II	988	22/III	1390	26/III	504	1044
Год	1954	1962	1955	1954	1954	1951	1954	1954	1954	1954
Среднее	570	23/XII	337	8/I	788	24/II	918	25/II	232	580

Кзыл-Орда										
Число случаев	12		12		12		12		12	12
Наименьший, ранняя . .	336	14/XI	172	2/XII	464	9/II	488	9/II	164	316
Год	1961	1952	1962	1954	1962	1952	1962	1952	1962	1962
Наибольший, поздняя	871	30/XII	387	20/I	1160	30/III	1440	1/IV	535	1104
Год	1953	1951	1961	1962	1960	1954	1954	1954	1954	1954
Среднее	634	10/XII	297	30/XII	887	10/III	955	12/III	337	658

Кара-Узяк

Число случаев	10		11		11		11		10	11
Наименьший, ранняя . .	341	13/XI	204	24/XI	448	22/II	448	22/II	137	244
Год	1961	1952	1962	1952	1962	1952	1962	1962	1962	1962
Наибольший, поздняя	976	26/XII	360	30/I	1516	1/IV	1516	1/IV	683	1223
Год	1953	1958	1959	1958	1954	1954	1954	1954	1954	1954
Среднее	606	10/XII	290	20/XII	880	12/III	912	13/III	317	621

Кармакчи

Число случаев	8		10		10		10		8	10
Наименьший, ранняя . .	471	11/XI	184	5/XII	452	2/III	668	2/III	238	455
Год	1950	1952	1952	1952	1951	1958	1951	1958	1951	1951
Наибольший, поздняя	662	31/XII	303	29/I	1026	7/IV	1200	11/IV	465	1016
Год	1958	1951	1954	1958	1960	1954	1953	1954	1953	1953
Среднее	554	6/XII	237	29/XII	756	22/III	952	24/III	343	715

Казалинск

Число случаев	12		12		12		12		12	12
Наименьший, ранняя . .	269	12/XI	108	27/XI	513	5/III	513	5/III	75	319
Год	1961	1952	1957	1960	1962	1958	1962	1958	1962	1962
Наибольший, поздняя	608	15/XII	336	13/I	1490	13/IV	1490	14/IV	384	1124
Год	1954	1955	1959	1954	1960	1954	1960	1954	1958	1960
Среднее	503	27/XI	216	20/XII	680	28/III	916	30/III	287	700

тельного поступления вод из водосбора. Большая величина изымаемого из стока количества воды при замерзании реки у нас не вызывает сомнения — она надежно подтверждается всеми наблюдениями и измерениями расходов воды. Но громадная величина паводков, возникающих мгновенно как бы из ничего, заставляет сомневаться в надежности гидрометрических работ и методов подсчета стока или же предполагать, что дело не обходится без участия водосборных паводков. В действительности, последнее случилось не раз и наша задача состояла в том, чтобы исключить подобные сомнительные случаи и сконцентрировать свое внимание на чистых паводках вскрытия. Водосборными паводками мы здесь называли паводки, созданные талыми и дождевыми водами в бассейнах рек Нарына, Карадарьи, Чирчика и других и попусками из водохранилищ и учтенные на посту Кок-Булак (Чардара), а также образовавшиеся в бассейнах реки Арыси и ряда малых рек, стекающих со склонов хребта Каратау в направлении р. Сырдарьи на участке между постами Чардарой и Тюмень-Арыком и также непосредственно не учитываемые.

Ниже приводятся несколько примеров, подтверждающих существование паводков вскрытия.

1946-47 г. Маловодная зима. Паводки вскрытия подтверждены измерениями расходов в Кармакчах (увеличение с 450 до 700 м³/сек.).

1956-57 г. В Кок-Булаке и на р. Арыси паводков не было, в Тюмень-Арыке и ниже были высокие паводки вскрытия, хотя и подтвержденные измерениями расходов только на постах Кармакчах и Казалинске (увеличение расходов с 400 до 850 м³/сек.).

1957-58 г. В Тюмень-Арыке паводков не было, но на ниже расположенных постах они были, и, следовательно, являлись паводками вскрытия. В Кармакчах за счет этого с 1 февраля по 2 марта расход увеличился с 200 до 800 м³/сек. (измеренный 680 м³/сек.).

1959-60 г. Весь март в Кзыл-Орде и Кара-Узьяке наблюдались большие паводки; расход воды колебался от 800 до 1200 м³/сек., а в Казалинске, куда паводки идут не больше 6 суток, расход был небольшим — 450 м³/сек. в начале и 600 м³/сек. в конце марта, но перед вскрытием он начал быстро увеличиваться и в день вскрытия достиг 1500 м³/сек. (замер на следующий день 1260 м³/сек.). Налицо несомненная концентрация воды в разливах и быстрое освобождение ее во время вскрытия. Неясным остается вопрос о том, как меняется расход воды в последние дни ледостава, так как в такие дни замеров не делается. Паводок в Кара-Узьяке начался 1 марта; в Казалинск он пришел примерно 5 апреля; значит пробег продолжался 35 суток по 13 км в сутки. Со столь малой скоростью вода продвигалась под ледяным покровом.

1960-61 г. В Чардаре всю зиму и весну держался ровный уровень; в марте расход уменьшился; аналогичный ход в Утрабате. В Кзыл-Орде с 1 января по 7 марта расход постепенно увеличился с 400 до 1080 м³/сек., хотя уровень воды за это время не менялся.

В Казалинске во время вскрытия был затор, расход после прорыва которого достигал $1430 \text{ м}^3/\text{сек.}$ (измеренный $1300 \text{ м}^3/\text{сек.}$). Русловое регулирование несомненно, но гидрометрические данные плохо отражают действительность.

1961-62 г. Уровень и расход как по подъему, так и по абсолютной величине были небольшими: замерзание реки и ее вскрытие происходило спокойно. Причиной этому были либо теплая зима, либо небольшой расход. Паводок вскрытия был «чистым», т. е. без участия водосборного паводка, но небольшим: в Кара-Узьяке подъем составил $50 \text{ м}^3/\text{сек.}$, т. е. всего 12% расхода перед вскрытием, в Кармакчи — $100 \text{ м}^3/\text{сек.}$, или 29%; в Казалинске эта величина, подтвержденная измерениями расхода воды, составила уже около $200 \text{ м}^3/\text{сек.}$, или 60%.

1965-66 г. До 12 марта расход на посту Чардаре держался постоянным и равным $110 \text{ м}^3/\text{сек.}$; до 14 марта река вскрылась вся до Казалинска; в Тюмень-Арыке паводков, могущих влиять на расход при вскрытии на нижних постах, отмечено не было. Следовательно, паводки при вскрытии могли быть только за счет руслового регулирования. Наблюдалось следующее: в Кзыл-Орде и Кара-Узьяке при вскрытии паводков не было, в Кармакчах паводок был равен $70 \text{ м}^3/\text{сек.}$ (от подошвы до гребня), в Казалинске — $75 \text{ м}^3/\text{сек.}$ Так как этот прирост составляет около 50% расхода на подошве, то можно считать, что был паводок вскрытия и притом по относительной величине довольно значительный. Гребень его прошел после вскрытия.

5. Выводы

Из-за невозможности привести здесь полного анализа наблюдений дадим краткие выводы из него, повторив для полноты картины и некоторые выводы из изложенного ранее.

1. Во время замерзания реки расход воды уменьшается примерно вдвое, затем постепенно с колебаниями растет до конца зимы, а во время вскрытия он резко возрастает, образуя паводок вскрытия.

2. Описанная теория руслового регулирования в общих чертах объясняет колебания уровня воды в реке зимой, вообще говоря, запутанные, хотя для исчерпывающего объяснения их обычно не хватает информации.

Направлением и скоростью движения кромки льда в общих чертах объясняются колебания уровня воды в реке зимой.

Имеющихся сведений о положении кромки льда недостаточно для надежного определения скорости ее движения за короткие промежутки времени (1—3 дня), из-за чего колебания этой величины во времени представляются беспорядочными. Это объясняется как несовершенством наблюдений за кромкой льда, так и самой природой ее. Особенно мало надежны и мало репрезентативны наблюдения между Кармакчами и Казалинском; здесь, в частности, замер-

зание и вскрытие нередко происходит одновременно или почти одновременно на всем участке, что создает иллюзию очень быстрого движения кромки льда. Например, кажущаяся скорость движения кромки вниз нередко превышает скорость течения реки, что невозможно. Однако теорией предсказываются весьма большие увеличения расходов, вызванные русловым регулированием, которые наблюдаются на самом деле. Так, в 1956 г. за счет сброса зарегулированной зимой воды ее расход в Казалинске при вскрытии превысил $1000 \text{ м}^3/\text{сек.}$, тогда как соответственный расход в Кок-Булаке составлял всего $550 \text{ м}^3/\text{сек.}$

Ошибка в определении скорости движения кромки льда сказывается еще большей ошибкой в определении ΔQ . Особенно это касается вскрытия на участке от Кармакчей до Казалинска, когда рассчитанный приrost расхода за короткие промежутки времени (меньше суток) становится необоснованно большим (разность $v-w$ близка к нулю) или даже нелепым (разность $v-w$ отрицательна). В таких случаях теория несостоятельна. Натуральный график движения кромки льда при этом не теряет своего значения, и каждая его ордината выражает не только расстояние от кромки льда до устья l , но и величину, пропорциональную объему воды, зарегулированному по „вине“ ледяного покрова на участке от кромки льда до устья, причем коэффициент пропорциональности равен среднему изменению площади водного сечения.

Наиболее хорошо теория оправдывается на реке выше Кергельмеса и особенно выше Тюмень-Арыка, где колебания уровня (и расхода), вызванные движением кромки льда, имеют резкие очертания (например, в зиму 1961-62 г. в Кергельмесе и Утрабате). При прочих равных условиях в маловодные зимы теория в общем оправдывается лучше, чем в многоводные. То и другое, по-видимому, связано с выходом или невыходом реки из берегов. Ниже Кзыл-Орды, где обычны разливы, особенно в многоводные зимы, теория работает плохо.

3. Хотя на паводки вскрытия (русловые паводки) в некоторые весны налагаются водосборные паводки (паводки, отмеченные в Чардаре или в Кок-Булаке, сложенные с боковым притоком между Чардарой и Тюмень-Арыком), однако сомневаться в существовании паводков вскрытия нельзя; на это, например, указывает длительная задержка громадного количества воды на участке Кара-Узяк — Казалинск в марте 1960 г., а также множество других примеров.

4. Трудно проверить применимость теории в самые интересные периоды зимней жизни реки — во время замерзания и вскрытия реки, когда невозможно достаточно точно определить ежедневные расходы воды. При замерзании реки соответствие между ходом уровня и ходом расхода воды совершенно исчезает, поэтому ежедневные расходы определяются путем простой линейной интерполяции во времени. Во время вскрытия реки ход уровня воды хотя и соответствует ходу расхода, но это соответствие может оказаться

слабым из-за влияния того же подпора. Измерения расходов воды в эти критические периоды, как известно, не делаются.

К счастью, зимой 1957-58 г. река замерзала выше и ниже Тюмень-Арыка, а на самом посту ледостав отсутствовал, и уровень был бесподпорным, поэтому ежедневные расходы можно было вычислить достаточно точно по летней кривой. Движение кромки льда на 300 км вверх от поста Тюмень-Арык и затем возвращение ее к посту привело к характерному колебанию уровня и расхода воды на посту, предусматриваемой теорией, что и послужило подтверждению последней.

5. В нижнем течении Сырдарьи (ниже Кзыл-Орды) регулирование стока происходит гораздо медленнее, чем это предусмотрено теорией. Напрашивается следующая гипотеза: разлившаяся во время замерзания реки вода частью возвращается в русло, частью теряется, и возвращение воды в русло происходит двумя этапами — постепенно в течение всей зимы и быстро во время вскрытия реки. Чем больше воды аккумуляровалось в русле и в разливах перед вскрытием реки, тем выше при прочих равных условиях будет уровень и расход воды во время вскрытия.

Исходя из этой гипотезы для зимы 1955-56 г. было найдено, что почти 1,5 млрд. м³ воды было зарегулировано в реке и разливах на протяжении почти 1400 км от Чардары до Казалинска.

6. При замерзании реки на постах отмечаются столь большие снижения уровня воды, что они могут быть объяснены только выходом вод реки в разливы. Так, в январе 1956 г. в разливы и на повышение уровня между постами Ак-Кумом и Утрабатом ушло так много воды, что это вызвало снижение уровня воды в Ак-Куме на 80—100 см, в Тюмень-Арыке на 70—110 см, Кзыл-Орде на 40—70 см, в Кара-Узьяке на 40—60 см, в Кармакчах на 25 см и в Казалинске на 15 см. Это указывает на возможность борьбы с наводнениями путем сброса воды реки в естественные понижения.

7. При замерзании реки уровень воды на посту повышается и остается всю зиму высоким, превышая меженные отметки на 1—2 м и более в зависимости от характера участка и распределения шуговых масс по длине реки в районе поста.

Стеснение русла ледяным покровом и подледной шугой вызывает повышение уровня на участке, покрытом льдом; выше кромки создается подпорное состояние уровня, причем вершина кривой подпора лежит не на самой кромке, а несколько ниже ее, что объясняет некоторое повышение уровня после наступления ледостава в данном пункте. Это указывает и на то, что забивка русла на данном участке продолжается еще и после установления ледостава.

Медленное повышение уровня воды на посту обычно начинается за 2—3 дня до наступления ледостава и объясняется нарастающим подпором со стороны кромки льда, приближающейся к посту снизу. В момент прохождения кромки или несколько позже уровень достигает частного максимума, создаваемого зажорными явлениями. Когда же кромка прошла пост и находится выше поста, уровень на

посту падает за счет а) уменьшения шероховатости льда и подледной шуги, б) уменьшения расхода воды и в) разлива реки где-то выше поста.

После этого довольно быстрый рост уровня возобновляется и продолжается в течение нескольких дней, после чего устанавливается ледоставный уровень. Он обычно бывает выше уровня при замерзании и характеризует истинную, установившуюся степень стесненности русла ледяными образованиями, соответствующую также установившемуся расходу воды, тогда как высший уровень при замерзании соответствует меньшему расходу воды, хотя может быть и при более высокой степени стеснения русла.

Иногда высший уровень наблюдается в день замерзания реки, что случается, когда ледоставный зажор был особенно мощным и располагался на посту или несколько ниже его или, когда кромка льда прекратила свое движение, несколько выше поста. Длительная остановка кромки льда наиболее благоприятна для развития наиболее мощного зажора (затора).

Перед вскрытием уровень воды на посту в течение нескольких дней растет, а в момент вскрытия он совершает скачок вверх: это сказываются заторные явления, которые влияют на уровень еще день-два, после чего начинается быстрое падение уровня, тем более быстрое, чем быстрее кромка льда удаляется от поста. Случается, что перед вскрытием на посту наблюдается не повышение, а понижение уровня. Это значит, что ниже поста на реке имелась большая полынья, увеличивающаяся в размерах, что приводило к уменьшению подпора и тем самым к падению уровня на посту. Дата максимального уровня колеблется около последнего дня с ледоставом.

Подпор на движущейся вниз кромке создается благодаря разности скоростей движения паводков и кромки льда и усиливается заторными явлениями, происходящими на кромке. Таким образом, кромку льда сопровождает водяной вал, который на Сырдарье наблюдается почти всегда. Вал на посту не отмечается, когда ниже по течению река вскрывается раньше, чем на посту. У поста же остается перемычка, которая вскрывается спокойно иногда при падающем уровне воды.

ГЛАВА III

Движение кромки льда

1. Процессы образования и движения кромки льда

В главе II сведения о движении кромки льда были использованы для расчета положительных и отрицательных паводков, связанных с перераспределением воды в русле реки из-за ледовых явлений. В данной главе рассмотрим кромку льда как самостоятельный гидрологический элемент, представляющий научный и практический интерес, так как на кромке льда происходят наиболее опасные гидрологические явления.

В низовьях Сырдарьи температура воздуха настолько низка, а в верховьях она так высока, что в низовьях река замерзает ежегодно, а в верховьях очень редко. Зимой существует такая граница на реке, ниже которой наблюдается ледостав, а выше в зависимости от температуры воздуха или фаза „чисто“, или шугоход. Эта граница (или кромка льда, кромка ледостава, как ее называют) не остается на месте, а перемещается по реке: при похолоданиях вверх по течению, а при потеплениях вниз, так что замерзание в отдельном пункте можно рассматривать как подход кромки льда к этому пункту снизу, а вскрытие — как подход ее сверху.

Такова в общих чертах картина замерзания и вскрытия Сырдарьи, которой будем придерживаться при описании ледовых явлений. В деталях она оказывается гораздо сложнее, и поэтому нам придется часто дополнять ее. Довольно подробное изложение механизма замерзания и вскрытия Сырдарьи читатель найдет в работах автора [8, 10]. Здесь мы отметим некоторые выводы из них.

Движение кромки льда вверх по реке происходит за счет приставания к ней и примерзания приплывающей сверху шуги. Часть шуги увлекается под ледяной покров и там остается, создавая стеснение русла и как следствие образование подпора. Последний приводит к замедлению течения реки выше кромки, к остановке шуги и образованию выше по течению ледяной перемычки в ближайшей излучине реки. Верхний край перемычки образует новую кромку

ледостава, которая приводит к созданию следующей, считая вверх по течению, перемычки. В результате движение кромки льда оказывается скачкообразным, а молодой ледяной покров прерывистым. Промежутки между перемычками замерзают позже. Ледяные перемычки часто называют зажорами, причем переднюю (нижнюю) часть перемычки называют головой зажора. С нее и начинается образование перемычки путем остановки и смерзания шуги.

Раньше всего остановка шуги и смерзание ее в перемычки происходит в устье, затем прерывистый ледяной покров распространяется вверх по реке. В некоторых случаях наблюдается независимое замерзание реки на отдельных участках, но и здесь оно возникает с отдельной ледяной перемычки, от которой начинается движение кромки прерывистого ледостава против течения, в результате чего образуется серия ледяных перемычек. При сильных холодах наблюдается почти одновременное образование нескольких таких серий.

Вскрытие реки происходит в обратном порядке. Сверху поступают теплые воды, которые растопляют лед на кромке, тем самым создают движение последней вниз по реке. Одновременно в ледяном покрове появляются полыньи, которые с течением времени увеличиваются как в числе, так и в размерах. Ледяной покров при этом опять разбивается на ряд перемычек (которые, однако, бывают не так хорошо выражены как осенние перемычки), из-за чего движение кромки происходит неравномерно.

Случается и независимое вскрытие реки на отдельных участках, когда на реке наблюдается сразу две (и более) кромки. Не учитывая этого, можно получить слишком большую среднюю скорость движения кромки. Это часто случается на участке Кармакчи — Казалинск, где вскрытие происходит поздно, т. е. когда ледяной покров бывает сильно разрушен.

2. Характер ледовых явлений на отдельных участках Сырдарьи

Из сведений, полученных при авиаразведках льда, удалось подметить некоторые особенности в строении ледяного покрова и тем самым восстановить картину замерзания реки на отдельных частях ее и на этой основе разбить реку на восемь следующих участков, описанных в работе [8].

1. Участок от моря до 15-го км вверх по реке. Лед всегда шуговой. Здесь образуются первые серии ледяных перемычек. Зимой 1953-54 г. этот участок характеризовался большой удельной длиной зон шероховатого шугового льда (60%, или 0,6 км на каждый километр длины реки), малым количеством гладкого „кристаллического” льда и короткими полыньями.

2. Участок 15—147 км — слабоизвилистый, лишенный поступления шуги сверху, которая задерживается на третьем участке.

Участок обычно замерзает спокойно, почти как пруд, при малом количестве перемычек-зажоров (в 1954 г. их было в среднем по шесть на каждую сотню километров) и шугового льда (15%) и большом количестве кристаллического льда (65%).

3. Участок от Казалинска (147-й км) до Майлыбаса (220-й км) характерен крутыми излучинами; здесь, судя по прошлым ледовым разведкам, происходила остановка шуги и создавались мощные зазоры, сопровождавшиеся разливами реки.

4. Участок 220—335 км (от Майлыбаса до Дюрмень-Тюбе) слабо извилист и довольно крут (уклон более 12 см на километр). Благоприятен для транзита шуги и неблагоприятен для образования зазоров. Зачастую замерзает позже, чем отдельные части выше расположенного шестого участка. Характерен большой длиной отдельных зон с шуговым льдом (средняя длина 13,4 км), большим распространением последнего (82%) и соответственно малым количеством кристаллического льда (12%);

5. Участок 335—420 км (от Дюрмень-Тюбе до Кармакчей). По характеру ледяных образований промежуточный между четвертым и шестым участками. Сильно извилист.

6. Участок 420—620 км (от конца до начала протока Кара-Узяк). Характерен обилием излучин, большим числом перемычек (12 перемычек на 100 км), малой длиной шуговых зон (средняя 3,3 км) и малым расстоянием между зазорами (среднее 8,4 км). Река на этом участке часто разливается.

7. Участок 620—895 км (от Кара-Узяка до г. Чиили). Здесь сказывается влияние более теплого климата этой и выше расположенной частей реки. Поэтому шуга бывает меньше и смерзание ее в перемычки осуществляется труднее, отчего происходит уменьшение числа перемычек на 100 км длины реки и увеличение длины шуговых полос и промежутков между ними.

8. Участок 895—1410 км (от г. Чиили до с. Байракума) характеризуется дальнейшим уменьшением удельного числа перемычек и увеличением длины шуговых полос (зон, дорожек) и полыней-разводий. По-видимому, район большой излучины, в вершине которой находится пост Тюмень-Арык (972 км), является очагом частых зазоров, отчего ниже вершины излучины (940—970 км) наблюдается гладкий ледяной покров.

3. Материалы наблюдений над движением кромки льда

Для характеристики движения кромки льда мы будем употреблять две величины: скорость w в км/сутки и время в сутках, потраченное кромкой для прохождения 100 км пути $\left(\frac{100}{w}\right)$. Точность этих величин зависит от точности определения исходных данных, т. е. расстояний от устья до соответствующих точек реки l и времени прохождения кромкой этих точек t .

Для нанесения ледовой обстановки были изготовлены бланки карт, русло реки на которых размечено расстояниями от устья через 10 км по старой системе расстояний (до 1951 г., см. „Введение”).

Местоположение кромки льда и других деталей ледового состояния реки определялось по наблюдениям а) на гидрологических постах над ледовыми явлениями, сведения о которых помещались в гидрологических ежегодниках, б) с самолета, выполненным большей частью В. А. Архиповым [3], и в) с помощью специальных посыльных, направляемых на разведку реки органами водного хозяйства, железной дороги и других ведомств.

Наблюдения с воздуха наиболее точны, но при этом возможны ошибки из-за потери ориентировки на местности. Сильно извилистое русло Сырдарьи благоприятно для таких наблюдений. Недостаток состоит в том, что разведки делаются сравнительно редко. Лишь в течение трех зим (1956, 1957, 1958 гг.) УГМС УзССР совместно с Управлением Ташкентской железной дороги проводились регулярные ежедневные разведки льда с целью определения местоположения кромки льда во время ее весеннего движения вниз по реке. В 1954 и 1955 гг. наблюдения над движением кромки льда были хотя и регулярными, но не столь частыми. В другие годы авиаразведки проводились нерегулярно, в частности, попутно с обследованием льдов на Аральском море. В некоторые зимы, когда угроза наводнений была особенно велика, вылеты делались работниками водного хозяйства и железной дороги для определения местоположения кромки льда и разливов. О точности последних что-либо сказать трудно, однако грубые ошибки вряд ли возможны, так как местные работники обычно хорошо знают свою реку.

Наблюдения за положением кромки льда с помощью посыльных в некоторые зимы проводились довольно регулярно, но делались они только там, где железная дорога подходит близко к реке, и только на участке от ж.-д. станции Яны-Курган до ж.-д. станции Джусалы, оставляя без внимания остальные участки реки. Эти наблюдения не всегда надежны, так как обзор закрыт тугайной растительностью и поэтому наблюдатель может принять полынью за открытый участок реки. Мало точна и привязка пунктов наблюдений к определенным участкам реки.

Данные по гидрометпостам при наблюдениях два раза в сутки дают возможность с точностью до суток надежно определить время прохода кромки мимо постов. Недостаток их состоит в том, что это точечные наблюдения. О ледовых же условиях на расстоянии сотен километров между постами по ним судить нельзя. Благодаря прерывистости ледяного покрова пост зачастую долгое время находится в полынье-разводье. Случается, что выше и ниже поста река уже давно замерзла, а наблюдатель все еще отмечает «чисто», „ледоход”, „шугоход”. Отсутствие согласованности в сроках замерзания легко обнаружить при рассмотрении наблюдений на участке с густо расположенной сетью постов, как это имело место на уча-

стке протяженностью 20—30 км по прямой (от водокачки ж.-д. станции Берказань до водокачки ж.-д. станции Кзыл-Орда). Замерзание в декабре 1946 г. на девяти постах этого участка происходило в течение 13 суток и притом совершенно беспорядочно: сначала (3 декабря) ледостав наступил у поста № 5 (нумерация постов направлена вниз по реке), затем последовательно у постов № 8, 9, 2, 7, 6, 1, 4. Последним (16 декабря) ледостав отмечен на посту № 3. Заметим, что в эту зиму на опорных постах гидрометслужбы Тюмень-Арык, Кзыл-Орда, Кармакчи и Казалинск, на участке длиной 825 км замерзание произошло всего за 8 дней: с 9 по 16 декабря, но в Кара-Узяке (пост № 10) ледостав наступил 30 ноября.

Можно лишь надеяться, что опорные посты гидрометслужбы расположены на участках, сходных по условиям протекания ледовых явлений, и поэтому показания их являются согласными. Однако показания поста Казалинска оказываются явно несогласными с показаниями других постов. Этот пост находится в нижнем конце заторного участка (третьего по нашей разбивке), поэтому ледостав на нем наступает позже (иногда значительно), чем на выше лежащих участках реки.

У нас имеется косвенный источник для более точного определения координат графика движения кромки льда (места и времени): колебание уровня воды в реке. В Казалинске этим источником является падение уровня при замерзании реки выше поста; для остальных постов, наоборот, подъем уровня указывает на приближение кромки льда к посту снизу. Так, на девяти только что отмеченных постах в районе г. Кзыл-Орды лишь ледоставный скачок уровня закономерно распространялся вверх по реке, чего нельзя сказать о датах наступления ледостава на постах, которые по длине реки распределились незакономерно.

Признаком образования выше поста ледяной перемычки является прекращение или ослабление на посту шугохода при сохранении холодной погоды; при разрушении выше расположенной перемычки на посту отмечается ледоход. Иногда в книжке наблюдателя попадаются записи о заторе или ледоставе выше или ниже поста, которые также служат источником информации о положении кромки льда.

Кроме недостатка информации, приходится учитывать ошибочную информацию, для выбраковки которой могут быть использованы только что указанные признаки, а также сведения о погоде и температуре воды.

Все эти сведения были собраны в Летописи ледовых явлений, в которых в особую графу были выделены координаты кромки льда. Летописи начали составляться с 30-х годов в секторе гидропрогнозов УГМС УзССР, где они были доведены до зимы 1957-58 г., а впоследствии проверены и дополнены Д. Х. Салиховой до зимы 1959-60 г.

Координаты кромки льда были сведены в особую таблицу, нанесены на графики движения кромки для последующего использования

Средняя декадная скорость движения кромки льда w км/сутки

Зима	Расстояние от устья, км			XI			XII			I			II			III			IV			Сведения о начале и конце движения в случае неполных декад
	в начале движения	в высшем положении	в конце движения	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1945-46		1055	147										27	21		11	9	55				
1946-47		972	240													27	46					
1947-48		875	147												18	11	19	54				
1948-49		823	220														19	11	30			
1949-50		1077	203														37	46				
1950-51	152	1725	400			—116	—34	—25	—1	4	0	10	—1	0	1	6	20	80				22/XI (152 км)
1951-52	147	830	147				0	0	0	—66	—1	4	13	0	9	15	17	17				
1952-53	147	1060	147		91	—20	—7	0	0	0	0	0	2	22	22	22	41					13/XI (147 км)

1953-54	180	1310	220	0	2	-8	-43	-6	-25	-3	-7	8	6	-15	-23	32	30	38	9/XI (153 км) 14/IV (120 км)	
1954-55	940	1485	390			-53	0	3	-8	6	13	14	10	26	14	28			26/XI (147 км) 23/III (162 км)	
1955-56	178	1500	127					-59	-64	-3	7	18	19	-7	20	24	19	50	18/XII (126 км) 7/IV (127 км)	
1956-57	820	< 1640	160					-55	-21	3	3	3	5	8	22	42	56		16/XII (153 км)	
1957-58	153	1245	127		-70	20	0	-13	-56	20	13	5	8	27	56				23/XI (153 км)	
1958-59	140	1080	0				-14	-44	-30	5	10	6	4	4	16	16	23	31	6/XII (130 км) 6/IV (0 км)	
1959-60	217	1475	95		-1	-31	-82	2	0	16	11	16	16	18	15	-1	6	26	26	19/XI (147 км) 14/IV (95 км)
Среднее за 1950— —1960 гг.				-46	-66	-16	-20	-17	-27	4	6	8	9	9	16	24	33	36		

По этим данным была подсчитана скорость движения кромки льда как частное от деления пройденного расстояния Δl между двумя соседними определениями на время, прошедшее между ними. Так как вычисленная таким способом скорость оказалась весьма изменчивой величиной, то было сделано осреднение по декадам и определено время ΔD , затраченное кромкой на прохождение каждой сотни километров пути, как своеобразное выражение быстроты движения кромки (время пробега 100 км пути).

4. Средняя декадная скорость движения кромки льда

Как указывалось, ежедневная скорость движения кромки льда изменяется очень сильно: от нуля, когда кромка стоит на месте, до бесконечности, соответствующей одновременному вскрытию и замерзанию реки в разных местах, отдаленных друг от друга на большие расстояния. Ото дня ко дню эта величина меняется часто беспорядочно, что связано не столько с особенностью погоды, сколько с природой самого процесса замерзания и вскрытия реки. Ясно выраженной зависимости ежедневной скорости движения ни от времени, ни от расстояния от устья не обнаруживается. Менее изменчива средняя декадная скорость движения кромки, но и она изменяется беспорядочно (табл. 10). Обычно наивысшие отрицательные (движение вверх по реке) скорости наблюдаются в начале зимы (до первой декады января включительно), когда происходит замерзание реки в нижней половине рассматриваемого участка, в зоне устойчивых ледоставов. Затем кромка попадает в более теплые широты и движение ее вверх замедляется или прекращается (колебательные движения). После этого наступает сначала медленное, а потом более быстрое движение кромки вниз. В среднем за декаду наивысшая скорость при движении кромки вверх наблюдалась в третьей декаде ноября 1950 г. и составила 116 км/сутки. Наивысшая средняя декадная скорость в обратном направлении, т. е. вниз, достигала 80 км/сутки (в третьей декаде марта 1951 г.). Наибольшего положительного значения скорость кромки льда чаще всего достигает в конце своего движения, обычно в марте на участке Кармакчи — Казалинск, когда и погода бывает наиболее теплой, и ледяной покров менее прочен, и масса его на единицу длины реки меньше. Эта последняя зависимость хорошо видна из корреляционной табл. 11.

Если первую декаду ноября считать нулевой ($D=0$), а вторую — первой ($D=1$) и т. д., то зависимость скорости движения кромки льда от номера декады (D) можно выразить корреляционной формулой

$$w = 4,1D - 29,$$

справедливой для скоростей, превышающих -20 км в сутки (табл. 11). Не удовлетворяющие этому уравнению большие отрицательные

Корреляционная таблица зависимости средней декадной скорости движения кромки льда от времени
(число случаев) 1950-51—1959-60 гг.

Месяц	Декада	Скорость, км/сутки																									Всего	+	—
		вверх													вниз														
		>60	55—60	50—55	45—50	40—45	35—40	30—35	25—30	20—25	15—20	10—15	5—10	0—5	0—5	5—10	10—15	15—20	20—25	25—30	30—35	35—40	40—45	45—50	50—55	55—60			
XI	1 2 3	1 2												1 1 1													2 5	1 1	1 4
XII	1 2 3			1				2				2		1 4 4			1										7 8 10	2 4 4	5 4 6
I	1 2 3	2	1							1 2				3 3 3				2									10 9 9	3 6 8	7 3 1
II	1 2 3												1 3 4		2 3 2		2			1							10 10 10	9 10 8	1 0 2
III	1 2 3									1					1 3 1		3		2	2					1		10 8 7	9 7 7	1 1 0
IV	1 2 3																		1 1 1	1					1		4 1	4 1	0 0
Сумма		6	2	2	0	2	0	2	1	4	1	3	6	7	29	12	8	15	5	6	2	1	2	1	0	2	1		

скорости за рассматриваемые десять лет наблюдались в ноябре, декабре и в первой декаде января.

То, что замерзание реки начинается в самое разнообразное время (от ноября до января) и то, что скорости движения кромки во времени меняются сильно и беспорядочно, имеющих десяти лет наблюдений оказалось недостаточно для вывода средней многолетней (годового хода) скорости движения кромки льда для каждой декады. Представленный на рис. 13 график этих скоростей (сплошная линия) мало правдоподобен с середины декабря до конца января. Более правдоподобен ход, изображенный на этом рисунке пунктиром.

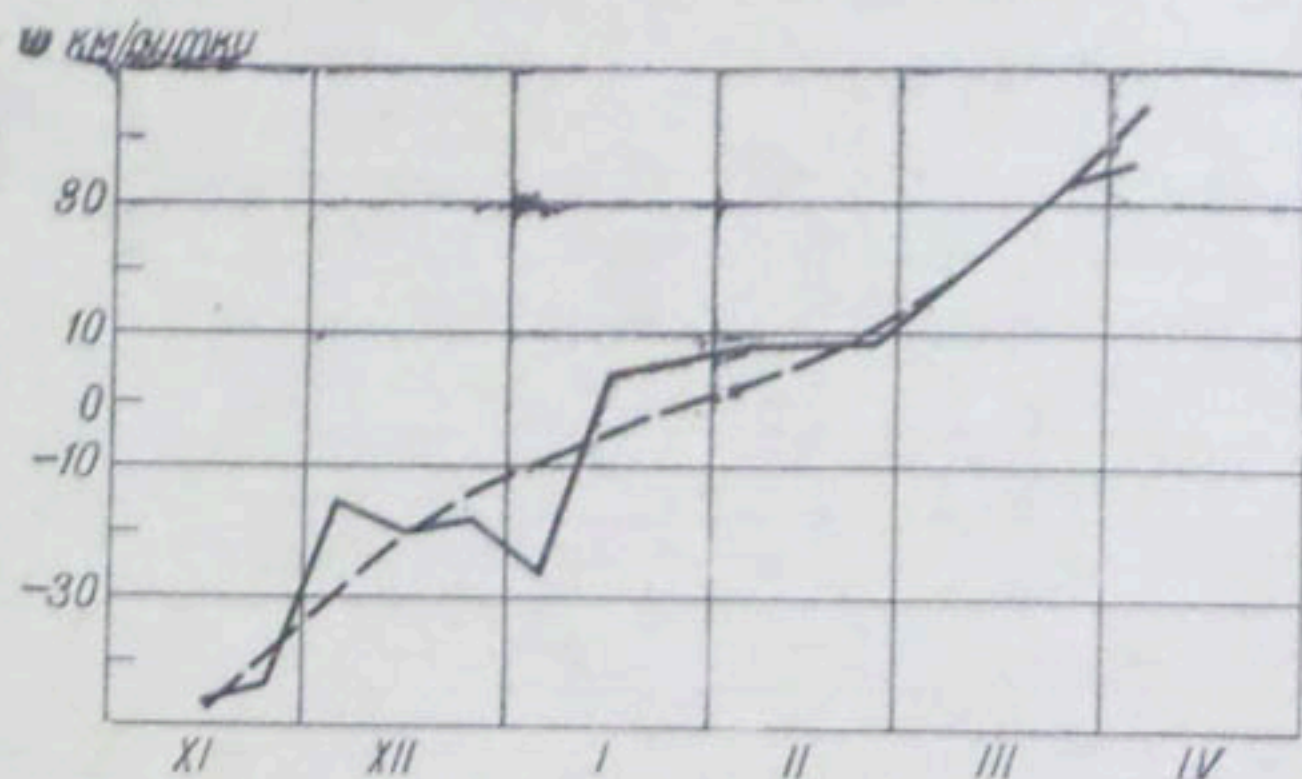


Рис. 13. Многолетняя средняя декадная скорость движения кромки льда (1950-51—1959-60 гг.).

Согласно графику (рис. 13), имеющему вид пунктирной линии, многолетняя средняя декадная скорость движения кромки составляет в третьей декаде ноября -38 км/сутки, во второй декаде декабря -21 км/сутки, во второй декаде января -4 км/сутки, во второй декаде февраля $+7$ км/сутки, во второй декаде марта $+24$ км/сутки и в первой декаде апреля $+44$ км/сутки. Значит в феврале в среднем происходит смена осеннего движения кромки на весеннее.

5. Время пробега кромкой льда 100 км пути

Для каждой зимы было найдено время пробега каждой 100 км реки $(\frac{100}{w})$, считая расстояние от Казалинска; после этого были определены средние и крайние значения этой величины, пересчитанные затем в w .

Величина $\frac{100}{w}$ также сильно и беспорядочно меняется по длине реки, как величина w во времени. Средние многолетние величины w приведены на рис. 14, но они мало надежны.

Хотя выводы из рис. 14 и ряда таблиц и графиков, здесь не показанных, нельзя считать надежными, мы все же их сделаем как весьма ориентировочные.

Зависимость средней многолетней скорости движения кромки льда от расстояния от устья (рис. 14) для фазы вскрытия выражена отчетливо: на нижних 400 км реки кромка льда движется

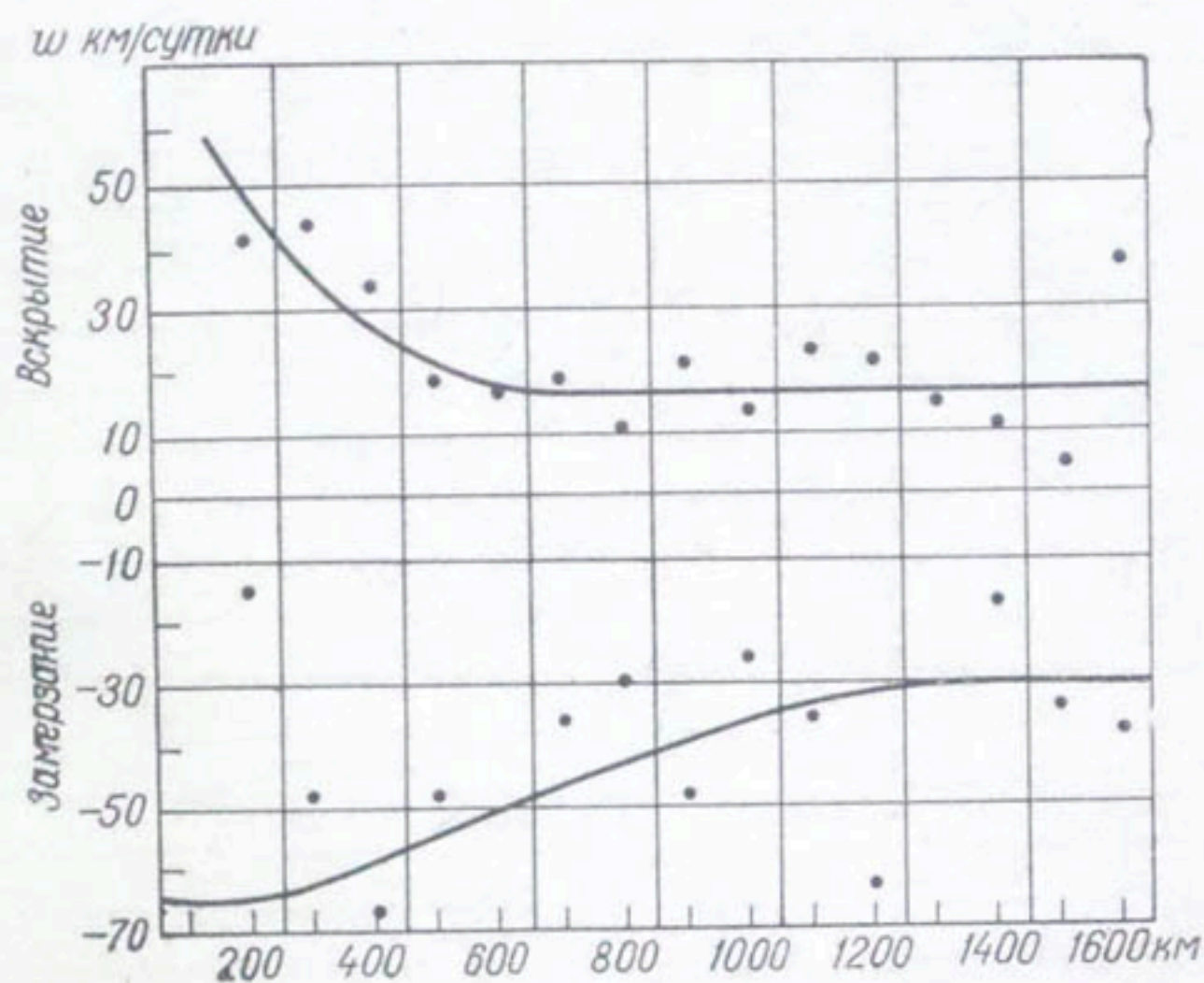


Рис. 14. Средняя многолетняя скорость движения кромки льда w на каждом стокилометровом участке.

с ускорением; на 200-м км ее скорость около 50 км/сутки, на 400-м км около 30 км/сутки, на остальном протяжении реки она неизменна и составляет около 17 км/сутки.

Для фазы замерзания такая зависимость почти отсутствует; имеется лишь намек на увеличение скорости движения кромки ближе к устью.

Сама средняя скорость движения кромки при замерзании реки в значительной мере условна, как это видно из следующего произвольного, хотя и возможного расчета. Пусть в результате наступившего слабого похолодания река замерзла от устья до 200-го км в течение одних суток. Пусть далее при втором, более сильном похолодании, наступившем через 7 суток после первого, река замерзла до 400-го км и также в течение одних суток. До этого кромка льда все семь суток находилась неподвижно на 200-м км. Фактически как на участке 0—200 км, так и на участке 200—400 км кромка льда двигалась с одинаковой скоростью, равной 200 км/сутки. Но при формальном подходе к вопросу, когда положение кромки льда бывает известно лишь для отдельных пунктов реки, будут считать, что кромка льда двигалась от 200-го до 400-го км не одни, а восемь

Повторяемость скорости движения кромки льда в зависимости от расстояния от устья

Скорость, км/сутки	Время пробега 100 км $\left(\frac{100}{w}\right)$	Расстояние от устья, сотни километров																																
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Всего	%															
		-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+											
> 200	0,1—0,5	4	2	4	1	5	2	6	1	3	1	1	2				1	1	2		1							1			30	8	23	6
200—100	0,6—1,0	2	1	1	3	2	1	1	2	3		3	2		3	1	1	1	2		2										22	9	17	7
100—50	1,1—2,0		3	3	3	1	2	3		4	1	4	2	1	2	1	3		3	2	3	1	2		1						31	14	24	11
50—33	2,1—3,0		3	1	2	1	2		1			1	2	1	2	1	2	3	3	1		1	2	1		3					17	19	13	14
33—25	3,1—4,0	1	1	1	1	1	1		3	1	4	1	3	2		2	1		2		2	1	2		1					10	21	8	15	
25—20	4,1—5,0		2					1					1	1	2	1	1	2	1			2			2			1		1	6	12	5	9
20—17	5,1—6,0	1			1	1	2					3		1		1				1										2	9	1	8	
17—14	6,1—7,0	1				1		1		3			1		1				1			2	1							2	10	1	8	
14—12	7,1—8,0	1						1		1		1						1			1			1		1				1	6	1	5	
12—11	8,1—9,0									1														1						0	2	0	1	
11—10	9,1—10,0		1																	1				1				1	1	3	1	2		

[illegible]

суток. Тогда скорость кромки на этом участке определяют равной всего 25 км/сутки, т. е. в 8 раз меньше фактической.

Места длительного стояния кромки льда, т. е. нахождения ее на одном и том же 100-километровом участке, бывают самые разнообразные. Так, зимой 1959-60 г. кромка льда 24 дня стояла на 500-м км (т. е. на участке от 450 до 550-го км), а зимой 1956-57 г. она больше месяца находилась на 1600-м км. Наиболее длительная стоянка кромки случается как при наивысшем ее положении (1956-57 г.), так и при среднем (1958-59 г.) и низшем (1959-60 г.), как при вскрытии (1959-60 г.), так и при замерзании; чаще это бывает при ее наивысшем положении, затем при вскрытии.

Бóльшие скорости движения кромки чаще наблюдаются при замерзании, меньшие — при вскрытии (табл. 12). Например, при замерзании (в среднем по всей реке) скорость больше 100 км/сутки встречалась в 40% всех случаев, а при вскрытии — только в 13%.

6. Весеннее движение кромки льда

В дальнейшем мы будем заниматься преимущественно весенним движением кромки льда, т. е. движением ее вниз по реке, так как это движение представляет для нас наибольший интерес. Движение вверх по реке подробнее рассмотрим позже.

На рис. 15 совмещены графики весеннего движения кромки льда с зимы 1947-48 г. по зиму 1959-60 г. На каждом из этих графиков (кривых) можно различить:

более или менее прямолинейный круто падающий отрезок, соответствующий скорости около 40—60 км/сутки,

пологие отрезки, соответствующие медленному движению и даже прекращению движения. Последние являются результатом похолоданий.

В некоторые зимы (1950-51, 1953-54, 1956-57 гг.) равномерное быстрое движение, начавшись выше 1250-го км от устья, продолжается в таком же или в несколько увеличивающемся темпе до самого устья реки и, наоборот, в другие зимы (1948-49, 1951-52, 1954-55, 1959-60 гг.) такое движение начиналось только примерно с 500-го км от устья.

Смена медленного движения на быстрое, как правило, начинается в марте, обычно в первых двух декадах этого месяца. Но встречались зимы (1948-49, 1959-60 гг.), когда медленное движение продолжалось до последней пятидневки марта или до первой пятидневки апреля. Для рассматриваемой части Сырдарьи март по-настоящему является переходным месяцем, т. е. месяцем неустойчивого состояния реки. В этот месяц кромка льда может и подняться вверх по реке на 400 км (зима 1953-54 г.) и опуститься вниз на 1400 км (зима 1950-51 г.). Однако и всю зиму даже в районе Тюмень-Арыка нельзя признать устойчивой, так как случалось, что быстрое движение кромки льда вниз начиналось уже с середины

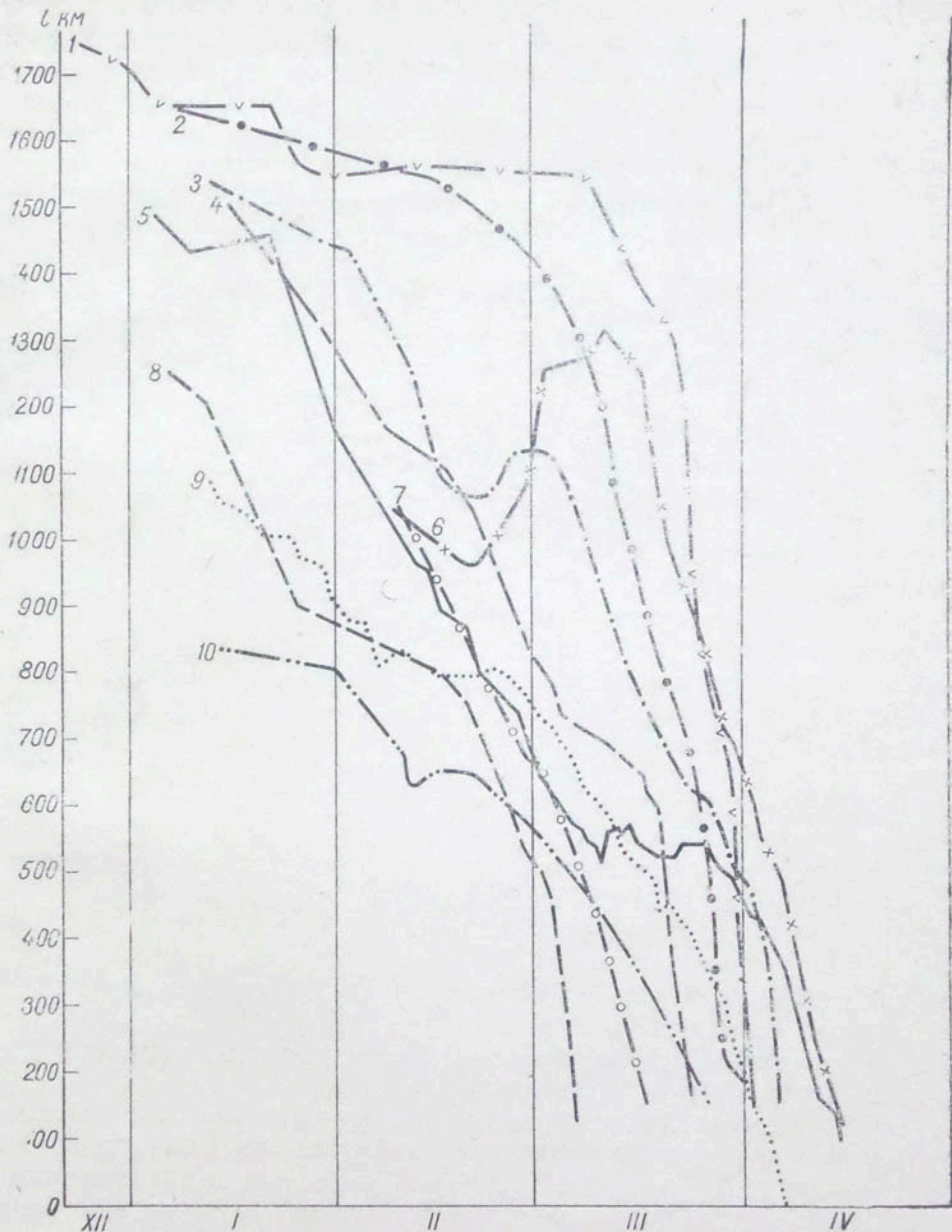


Рис. 15. Совмещенные графики весеннего движения кромки льда на р. Сырдарье.

1 — 1950-51 г., 2 — 1956-57 г., 3 — 1955-56 г., 4 — 1954-55 г., 5 — 1959-60 г., 6 — 1953-54 г., 7 — 1952-53 г., 8 — 1957-58 г., 9 — 1958-59 г., 10 — 1951-52 г.

января (зима 1958-59 г.), а зимой 1913-14 г. река в Кара-Узьяке и выше вовсе не замерзала.

При поздних веснах (зимы 1950-51 и 1960-61 гг.) на последних 500 км река вскрывалась практически одновременно, на что указывает более раннее вскрытие на нижних постах по сравнению с верхними.

7. Зависимость скорости движения кромки льда от температуры воздуха и воды

Температуру воздуха мы рассматриваем в качестве величины, характеризующей тепловые потоки через верхнюю поверхность реки. Непосредственный тепловой баланс реки составить невозможно из-за отсутствия соответствующих наблюдений. Температурой воздуха в известной мере можно характеризовать и температуру воды на кромке льда, в свою очередь характеризующую тепловой поток в направлении течения реки (тепловой расход), так как известно, что [10] температура воды в Сырдарье довольно быстро реагирует на изменение температуры воздуха. Однако игнорировать температуру воды не следует, так как это репрезентативный и легко наблюдаемый элемент. Температуру воздуха следовало бы брать на кромке льда, но таких наблюдений нет. Их пришлось заменять наблюдениями на двух ближайших к кромке льда метеорологических станциях с длительными и надежными наблюдениями, а температуру на кромке льда получать путем пространственной интерполяции. Наблюдения на гидрологических постах за температурой воздуха менее надежны и регулярны.

Мы выбрали метеорологические станции Кзыл-Орда и Байракум, полагая, что изменения температуры воздуха на них достаточно хорошо отражают колебания этой величины на обширной территории. Что такие репрезентативные станции существуют, доказано опытом. Например, для нижнего течения р. Амударьи репрезентативной (в смысле температуры воздуха) оказалась станция Ургенч.

Сильное влияние на скорость движения кромки льда вниз по реке может оказывать состояние ледяного покрова и паводки. Если на реке только что образовался прерывистый ледостав, то наступившее потепление может привести к разрушению его на большом протяжении в течение короткого времени, вызвав быстрое движение кромки; такой непрочный ледяной покров может взломаться пришедшим сверху паводком, что будет воспринято как еще более быстрое движение кромки льда. Наоборот, при сплошном толстом ледяном покрове эффект такого непродолжительного теплового воздействия и паводков окажется незначительным. В ледяном покрове, продолжительное время подвергавшемся действию тепла, образуется множество полыней, а сам лед становится тоньше, отчего движение кромки такого льда будет происходить быстрее. Вообще говоря, при прочих равных условиях кромка льда будет двигаться

вниз по реке тем быстрее, чем меньше масса льда, приходящаяся на единицу длины реки.

Легко понять, что здесь мы исходим из предположения, что вскрытие происходит путем таяния льда на месте, на кромке, за счет отдачи ему тепла, приносимого из более теплых южных широт с теплой водой, а тепло воздуха и солнца расходуется на уменьшение количества льда на единицу длины реки. Сказанное относится к процессу в целом. В деталях же на отдельных коротких участках реки лед может оказаться настолько сильно изреженным и даже расчлененным на отдельные перемычки, что вскрытие произойдет динамическим путем, т. е. лед будет взломан и унесен вниз к кромке прочного ледяного покрова, создавая видимость быстрого движения кромки, которое возможно и при отрицательной температуре воздуха. Сильно разреженный ледяной покров нам удалось наблюдать [8] при ледовой авиаразведке во время очень позднего вскрытия 20 марта 1951 г., когда кромка льда находилась несколько выше устья р. Арыси. На участке протяжением около 270 км во льду имелись три большие полыньи-разводья, в которых наблюдался ледоход от редкого до густого. В еще невскрывшемся ледовом покрове полыньи занимали 50—60% всей площади поверхности реки.

Скорость движения кромки льда вниз w может быть выражена следующей теоретической формулой [9]:

$$w = v : \left(1 + \frac{74E}{\tau h} \right),$$

из которой видно, что кромка льда будет двигаться вниз тем быстрее, чем меньше толщина льда E , выше температура воды τ , больше глубина реки h и скорость ее течения v . Все величины являются средними по сечению реки или по ее ширине и относятся к кромке льда, причем толщина льда определяется с учетом полыней, в которых она считается нулевой. Температура воздуха в формулу не входит, ее действие проявляется в изменении толщины льда.

От ширины реки скорость кромки льда не зависит, но косвенно она может быть отражена в отношении толщины льда к глубине реки ($E : h$), которое может зависеть от ширины реки.

Сравнивая последнюю формулу с формулой для движения кромки льда

$$\Delta Q = B \Delta H : \left(\frac{1}{w} - \frac{1}{v} \right),$$

найдем увеличение расхода воды за счет движения кромки льда в виде выражения

$$\Delta Q = Bhv\tau \Delta H : 74E = Q \frac{\tau}{74} \frac{\Delta H}{E},$$

которое показывает, что изменение расхода воды на данном посту ΔQ равно расходу воды Q , умноженному на произведение температуры воды τ на изменение уровня воды ΔH и деленному на 74 и толщину льда E . Все величины, стоящие в правой части формулы,

относятся к водному сечению на кромке льда, причем температура воды t выражена в градусах, а изменение расхода воды на посту ΔQ берется спустя время пробега от кромки до поста, равное $\frac{l}{v}$, где l — расстояние от кромки до поста. Так, при $t=3^\circ$, $\Delta H=120$ см и $E=10$ см расход воды на посту, расположенном ниже кромки, увеличивается на 48%, а при $E=20$ см — на 24% и т. д.

Связь скорости движения кромки с температурой воздуха на одной из станций (Кзыл-Орде и Байракуме) не получилась достаточно определенной. Так, в декабре 1955 г. при температуре воздуха в Кзыл-Орде от 0 до -10° река замерзала, а месяцем позже там же при температуре от -5 до -15° она вскрывалась; она вскрывалась также в первую декаду марта 1955 г. при $5-10^\circ$ мороза.

Как будто бы более определенна связь движения кромки с температурой воды. Действительно, при переходе температуры воды в Байракуме или Чардаре в феврале или марте через 2° кромка льда начинает устойчиво двигаться вниз. Но, с другой стороны, при этой же температуре воды (в Байракуме или Чардаре) в декабре наблюдалось движение и вверх (1953-54 и 1955-56 гг.). Зависимость между скоростью движения кромки льда w и температурой воздуха t в Кзыл-Орде криволинейная, но довольно слабая (рис. 16). Она может быть представлена двумя отрезками прямой, имеющими уравнения:

$$w = 1,8t + 21 \quad \text{при } t < 2^\circ,$$

$$w = 4,7t + 15 \quad \text{при } t > 2^\circ.$$

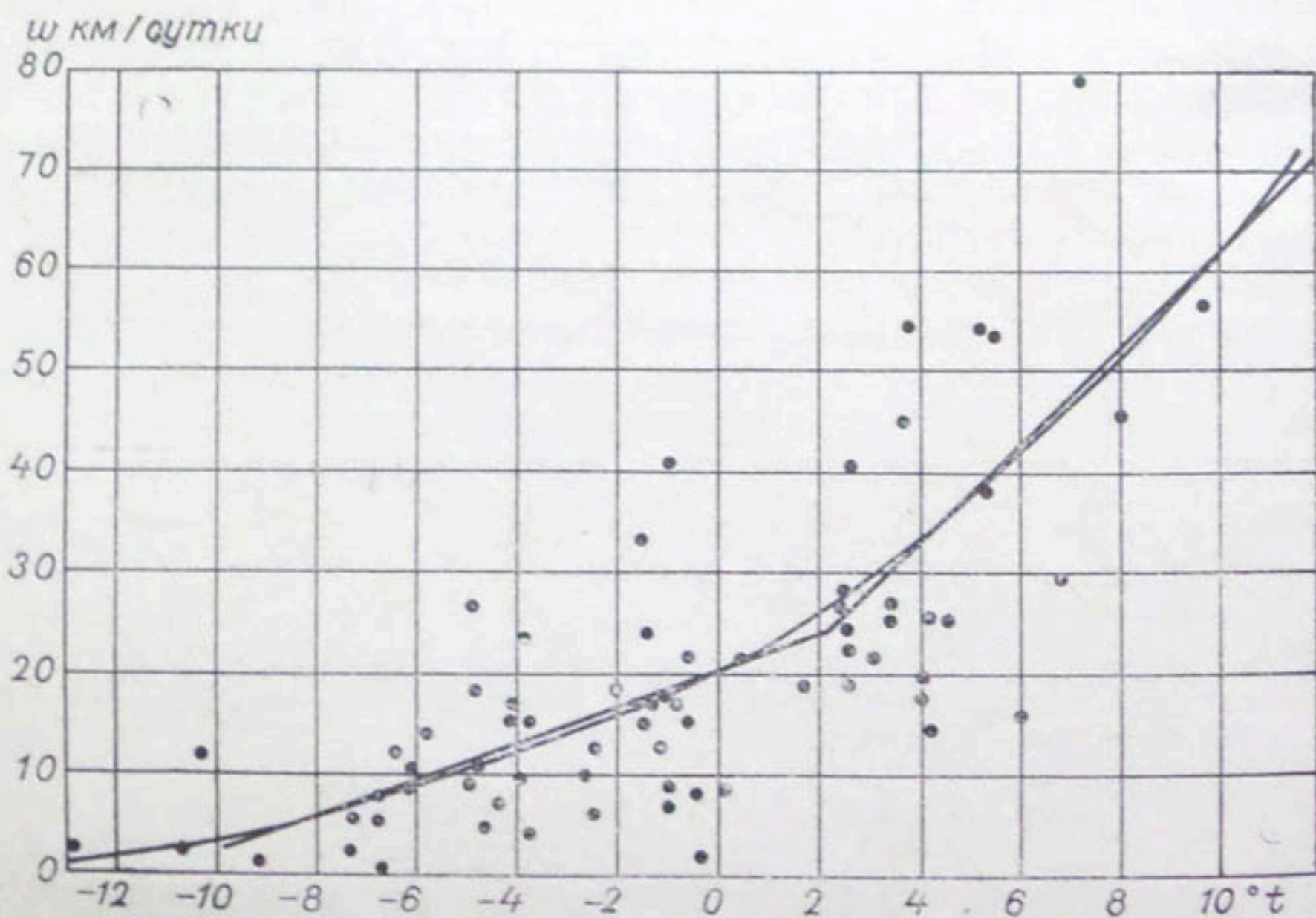


Рис. 16. Зависимость средней декадной скорости движения кромки льда на Сырдарье (w) от средней декадной температуры воздуха (t) в Кзыл-Орде.

Низкая теснота связи в известной мере объясняется невысокой точностью определения скорости движения кромки льда, что особенно сильно сказывается в тех случаях, когда средняя скорость вычисляется за неполную декаду.

На рис. 16 видно, что примерно в половине случаев движение кромки льда вниз по реке наблюдается при средней суточной отрицательной температуре воздуха в Кзыл-Орде. Так что в случае отрицательной температуры в Кзыл-Орде еще нельзя решить куда пойдет кромка льда: вверх или вниз. Для прогноза этот график, по-видимому, и вовсе не годится, так как температура воздуха должна быть еще предсказана. Однако познавательной ценности он все же не лишен: он нам послужил для объяснения некоторых интересных случаев движения кромки.

Зависимости скорости движения кромки льда от местоположения кромки при постоянной температуре воздуха не обнаружено, что видно из следующей сводки:

Температура воздуха, град. от — до	Расстояния от устья в сотнях километров, записанные в порядке убывания скорости движения кромки
—5 —3	7, 6, 9, 7, 11, 7, 9, 8, 12, 5, 6, 13, 4, среднее 800 км
1 3	10, 2, 9, 10, 10, 2, 10, 8, 3, 3, 7, 8, 1, 11, 3, 7, 5, 5, 6, 4, 2, 5, 10, 13, среднее 640 км
9 11	1, 4, 7, 2, 4, 3, 3, 2, 1, 8, 0, 2, 3, среднее 310 км

Из этой сводки можно лишь заключить, что движение кромки льда при высокой температуре воздуха в Кзыл-Орде происходит чаще тогда, когда кромка находится на нижних участках реки (см. рис. 14).

Связь средней декадной скорости движения кромки с сопутствующей температурой воды, взятой на ближайшем к кромке посту (рис. 17), оказалась несколько теснее, чем связи с температурой воздуха в Кзыл-Орде.

При неизменной температуре воды скорость движения кромки зависит не от календарного времени, а от расстояния от устья. Эта зависимость выражается в том, что при постоянной температуре воды кромка льда в последние дни своего движения, когда она приближается к Казалинску, движется быстрее, чем на других участках реки. Благодаря этому точки на рис. 17, соответствующие этим случаям, лежат выше других (кроме точек 1952 и 1960 гг.). Без них связь между скоростью движения кромки и средней температурой воды за время движения кромки может быть выражена уравнением

$$w = 4,1 \tau + 1 \text{ км/сутки.}$$

Бывают зимы, например, зима 1959-60 г., когда скорость движения кромки в большинстве случаев колебалась в пределах от 10 до 20 км/сутки вне зависимости от температуры воды. Наоборот, в 1954-55 и 1955-56 гг. наблюдалась тесная связь между этими величинами, удовлетворяющая только что приведенному уравнению.

После этих простых исследований приступаем к определению связи скорости движения кромки льда с температурой воды и воздуха около нее.

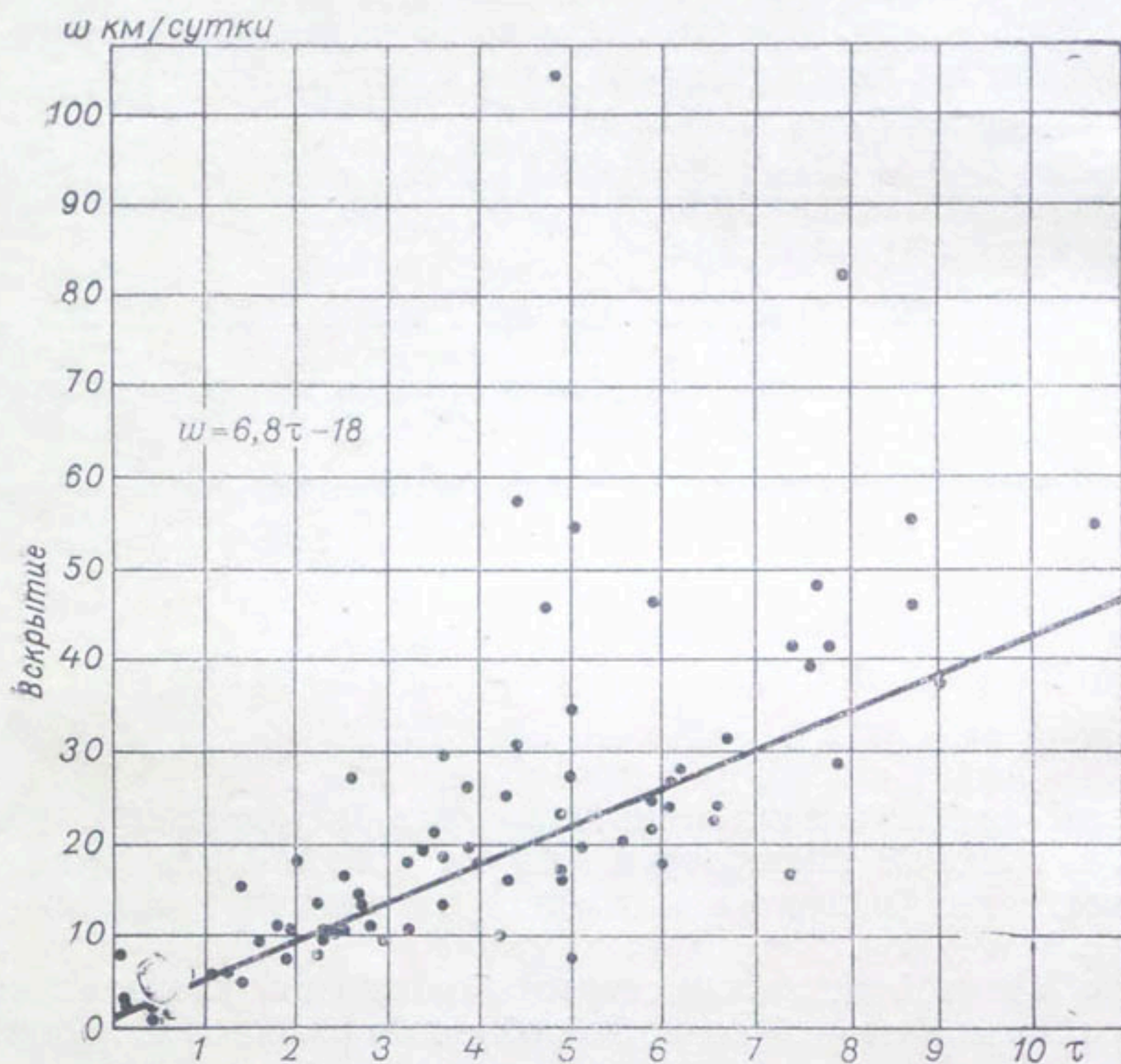


Рис. 17. Зависимость средней декадной скорости весеннего движения кромки льда (w) от средней декадной температуры воды по ближайшему к кромке посту (τ).

8. Связь скорости движения кромки льда с температурой воды и воздуха у кромки льда

Температура воздуха t бралась на двух ближайших к кромке метеорологических станциях, из которых одна выше, другая ниже кромки, и линейно интерполировалась на кромку. Температура воды τ_{50} определялась в 50 км выше кромки льда путем линейной интерполяции от ближайшего к кромке поста (сверху) до кромки,

где температура воды принималась равной нулю. В соответствии с этим для интерполяции использовались следующие формулы: для воздуха

$$t_k = \frac{l_k - l_n}{l_v - l_n} (t_v - t_n) + t_n$$

и для воды

$$\tau_{50} = \frac{50 \tau_v}{l_v - l_n},$$

где индексы к, в, н, 50 — соответственно местоположение кромки льда, верхнего поста (станции), нижнего поста (станции) и 50 км выше кромки льда, l — расстояние от устья в километрах.

Температура воды τ_v выписывается по тому посту, который находится на наименьшем расстоянии вверх от точки с расстоянием $l = l_k + 50$. Например, 13 марта 1954 г. кромка льда находилась на расстоянии $l_k = 1275$ км от устья, откуда $l_k + 50 = 1325$ км. Ближайший выше расположенный пост Байракум находится в $l_v = 1420$ км от устья. Температура воды на нем 13 марта составляла $\tau_v = 3,9^\circ$. 20 марта точка с расстоянием $l_k + 50$ перешла створ поста Ак-Кум (1040 км), поэтому был сделан переход на температуру воды этой станции, которая в этот день была равна $\tau_v = 0,4^\circ$. Если по какому-либо нужному посту данные по температуре воды отсутствуют, то берется соседний выше расположенный пост.

В табл. 13 дана средняя декадная температура воды в 50 км выше кромки.

Температура воздуха и скорость движения кромки, как мы успели убедиться ранее, очень изменчивые элементы. В их изменчивости во времени очень много местного, для наших целей случайного, поэтому они плохо связываются с другими гидрологическими элементами. Для исключения случайного эти элементы были сглажены путем скользящего их суммирования за трое суток. Такому сглаживанию подвергалась и температура воды, которая по сравнению с указанными элементами более инертна. Величины этих сглаженных элементов были нанесены на хронологические графики (они здесь не приводятся), из которых обнаруживается довольно хорошее соответствие между «пиками» и «впадинами» температуры воздуха и скорости движения кромки, которое было трудно обнаружить при сравнении этих элементов в натуральном виде. Особенно это хорошо проявляется на графиках зим 1953-54, 1955-56, и 1957-58 гг.

Однако более или менее точной зависимости между этими элементами все же нет, особенно когда колебания их малы. Зависимость, естественно, исчезает в промежутки времени, когда наблюдения за кромкой отсутствовали и положение ее на реке приходилось находить путем интерполирования, обычно принимая скорость движения кромки постоянной.

Средние декадные значения температуры (град.) воздуха
на кромке льда (t_k), температуры воды в 50 км выше кромки (τ_{50})
и скорости движения кромки льда $\frac{\Delta l}{\Delta D}$ (км/сутки)

Дата D	t_k	τ_{50}	$\frac{\Delta l}{\Delta D}$	Дата D	t_k	τ_{50}	$\frac{\Delta l}{\Delta D}$
1953-54 г.				1955-56 г.			
11—20/XI	0,5	0,1	0	18—20/XII		0	—26
21—30/XI	—2,5	0,3	2	21—31/XII	—10,8	0,1	—59
1—10/XII	—2,5	0	—8	1—10/I	—15,2	0	—64
11—20/XII	—8,5	0	—43	11—20/I	—3,8	0,4	—3
21—31/XII	—7,3	0,1	—6	21—31/I	—4,8	1,1	7
1—10/I	—8,2	0	—25	1—10/II	2,7	1,9	18
11—20/I	—8,3	0,1	—3	11—20/II	—7,5	0,8	19
21—31/I	—7,2	0,1	—7	21—29/II	—9,0	0,1	—7
1—10/II	—1,1	0,3	8	1—10/III	4,6	1,2	20
11—20/II	—4,1	1,2	6	11—20/III	—2,7	1,9	24
21—28/II	—13,5	0,4	—15	21—31/III	—1,4	2,0	19
1—10/III	—12,0	0	—23	1—7/IV	3,9	2,0	50
11—20/III	2,8	1,1	32	1956-57 г.			
21—31/III	3,3	2,2	30	16—20/XII	—12,8	0	—167
1—10/IV	4,2	2,6	38	21—31/XII	—9,3	0	—55
11—14/IV	8,9			1—10/I	—13,2	0	—21
1954-55 г.				11—20/I	—4,7	0,1	3
26—30/XI	—14,8	0	—189	21—31/I	—8,1	0,4	3
1—10/XII	—9,3	0	—53	1—10/II	—10,4	0	3
11—20/XII	—2,2	0,5	0	11—20/II	—4,7	0,4	5
21—31/XII	—5,0	0,6	3	21—28/II	—7,0	1,5	8
1—10/I	—5,4	0,1	—8	1—10/III	3,8	2,4	22
11—20/I	0	0,9	6	11—20/III	1,8	1,8	42
21—31/I	—0,6	1,3	13	21—31/III	2,0	1,6	56
1—10/II	—5,3	1,1	14	1—3/IV		0,8	14
11—20/II	2,4	1,3	10	1957-58 г.			
21—28/II	6,9	3,2	26	23—30/XI	—9,4	0	—70
1—10/III	—5,8	0,8	14	1—10/XII	1,1	0,4	20
11—20/III	3,9	1,8	28	11—20/XII	—2,6	0,6	0
21—23/III		1,1	86				

Дата D	t_k	τ_{50}	$\frac{\Delta l}{\Delta D}$	Дата D	t_k	τ_{50}	$\frac{\Delta l}{\Delta D}$
21—31/XII	—4,3	0	—13	11—20/III	—2,1	2,2	16
1—10/I	—1,6	0,1	—56	21—31/III	1,3	1,1	23
11—20/I	0,1	0,5	20	1—6/IV		2,2	
21—31/I	—0,3	0,1	13				
1—10/II	—2,6	0,5	5	1959-60 г.			
11—20/II	0	0,7	8	21—30/XI	—9,3	0	—1
21—28/II	4,5	1,6	27	1—10/XII	—10,0	0	—31
1—7/III	—0,8	0,7	56	11—20/XII	—14,8	0	—82
1958-59 г.				21—31/XII	—6,1	0,1	2
6—10/XII		0		1—10/I	1,9	0,2	0
11—20/XII	—4,6	0	—14	11—20/I	—0,2	0,6	16
21—31/XII	—14,0	0	—44	21—31/I	—0,5	0,4	11
1—10/I	—10,8	0	—30	1—10/II	1,0	0,4	16
11—20/I	—3,1	0,2	5	11—20/II	—1,2	1,0	16
21—31/I	—2,0	0,4	10	21—29/II	—2,6	1,4	18
1—10/II	—3,0	0,8	6	1—10/III	—6,9	1,7	15
11—20/II	—8,0	0,2	4	13—20/III	—10,1	0,9	—1
21—28/II	0,3	0,6	4	21—31/III	—2,9	1,0	6
1—10/III	—1,4	1,2	16	1—10/IV	1,6	1,0	26
				11—14/IV		2,6	26

Аналогичная зависимость скорости движения кромки льда имеется и с температурой воды в 50 км выше кромки.

Была сделана попытка определить по этим графикам время опережения кромки льда температурой воздуха на кромке и температурой воды в 50 км выше кромки. Для этого определялось время в сутках, на которое пики и впадины на хронологических графиках температуры воды и воздуха наступали ранее соответственных пиков и впадин на графике скорости движения кромки льда.

Как видно из табл. 14 пики и впадины температуры воздуха опережают пики и впадины скорости движения кромки в среднем на полутора суток; такое же опережение температурой воды составляет всего половину суток, т.е. температура воды в ее ходе сама запаздывает по сравнению с температурой воздуха на сутки, как это и следовало ожидать.

Полученные величины запаздывания скорости движения кромки льда верны лишь в средних за зиму величинах, но они неустойчивы даже в средних месячных значениях, а в конкретных случаях

Определение средних месячных значений времени опережения (сутки) скорости движения кромки льда температурой воздуха на кромке и температурой воды в 50 км выше кромки льда (1953—1960 гг.)

	Пики							Впадины							Пики + впадины
	XI	XII	I	II	III	IV	XI—IV	XI	XII	I	II	III	IV	XI—IV	XI—IV
Температура воздуха t_k															
Сумма	—2	12	27	11	3	5	56	1	13	13	24	24	9	84	140
Число случаев	2	8	10	11	15	4	50	1	10	10	10	16	3	50	100
Среднее	—1,0	1,5	1,7	1,0	0,2	1,2	1,1	1,0	1,3	1,3	2,4	1,5	3,0	1,7	1,4
Температура воды τ_{50}															
Сумма	—6	—5	15	—4	5	10	15	—	—8	17	—7	8	—	10	25
Число случаев	1	5	6	8	10	2	32	—	8	7	7	8	—	30	62
Среднее	—6,0	—1,0	2,5	—0,5	0,5	5,0	0,5	—	—1,0	2,5	—1,0	1,0	—	0,3	0,4

иногда и вовсе неправдоподобны. Например, кромка вместо запаздывания иногда опережает температуру.

Для практических целей можно принять, что температура воздуха на кромке опережает скорость движения кромки на двое суток, а температура воды — на одни сутки.

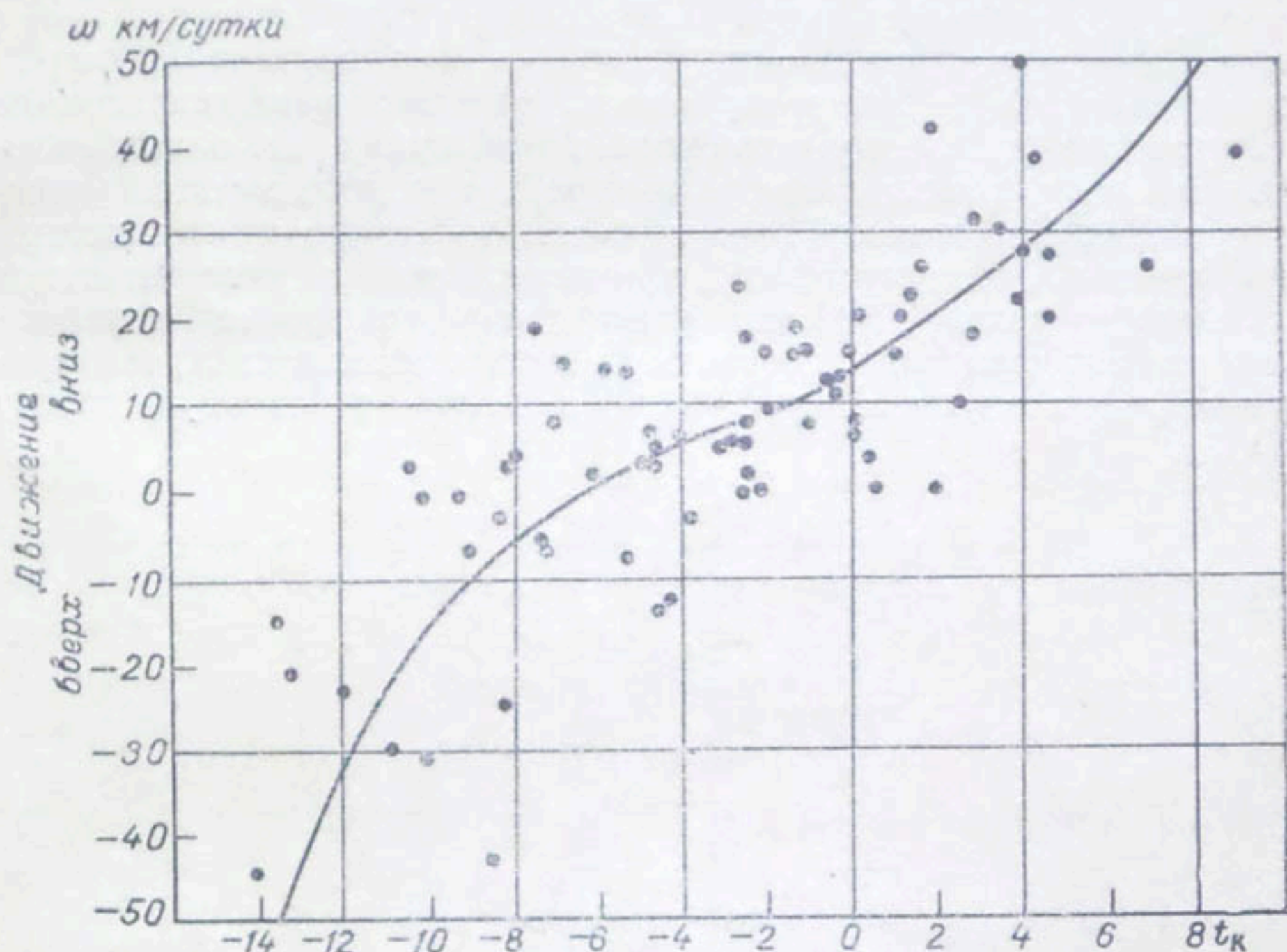


Рис. 18. Связь средних декадных значений скорости движения кромки льда (ω) и температуры воздуха на кромке (t_k).

Для выявления характера зависимости между скоростью движения кромки льда, с одной стороны, и температурой воздуха на кромке и воды в 50 км выше кромки, с другой, был построен ряд графиков связи, из которых здесь приводятся два (рис. 18 и 19).

Связь скорости движения кромки с температурой воздуха на кромке оказалась слабой (рис. 18). Из нее можно установить, что при температуре воздуха -3° кромка льда двигалась вниз, при температуре $-8^\circ < t < -3^\circ$ наблюдалось движение туда и обратно, а при температуре ниже -8° кромка двигалась только вверх, т. е. против течения¹.

Несколько теснее связь скорости движения кромки с температурой воды в 50 км выше кромки.

¹ Похожий график получился у О. П. Чинова для Амударьи [19].

Объединив температуру воды и воздуха в сумму $t_k + 5t_{50}$ (рис. 19), мы получили наиболее надежную связь этого типа.

Все эти графики не имеют полноценного прогностического значения, так как температуру воздуха и воды нужно еще отдельно предсказывать. Попытка связать скорость движения кромки льда с температурой воздуха и воды за предыдущую декаду успехом не увенчалась: связь оказалась очень слабой. На участке Кармакчи — Казалинск скорость кромки сильно зависит от характера вскрытия. При одной и той же температуре воды и воздуха река вскрывается то постепенно (и поэтому медленно), то скачком почти одновременно на большом протяжении, т. е. быстро. Кроме того, на этом участке наблюдений за кромкой льда не было (ориентироваться приходилось только на концы участка), а движение происходило неполную календарную декаду. Все это препятствовало получению однородных и точных сведений о скорости движения кромки льда, температуре воды и воздуха. На рис. 18 наблюдения за неполную декаду изъяты.

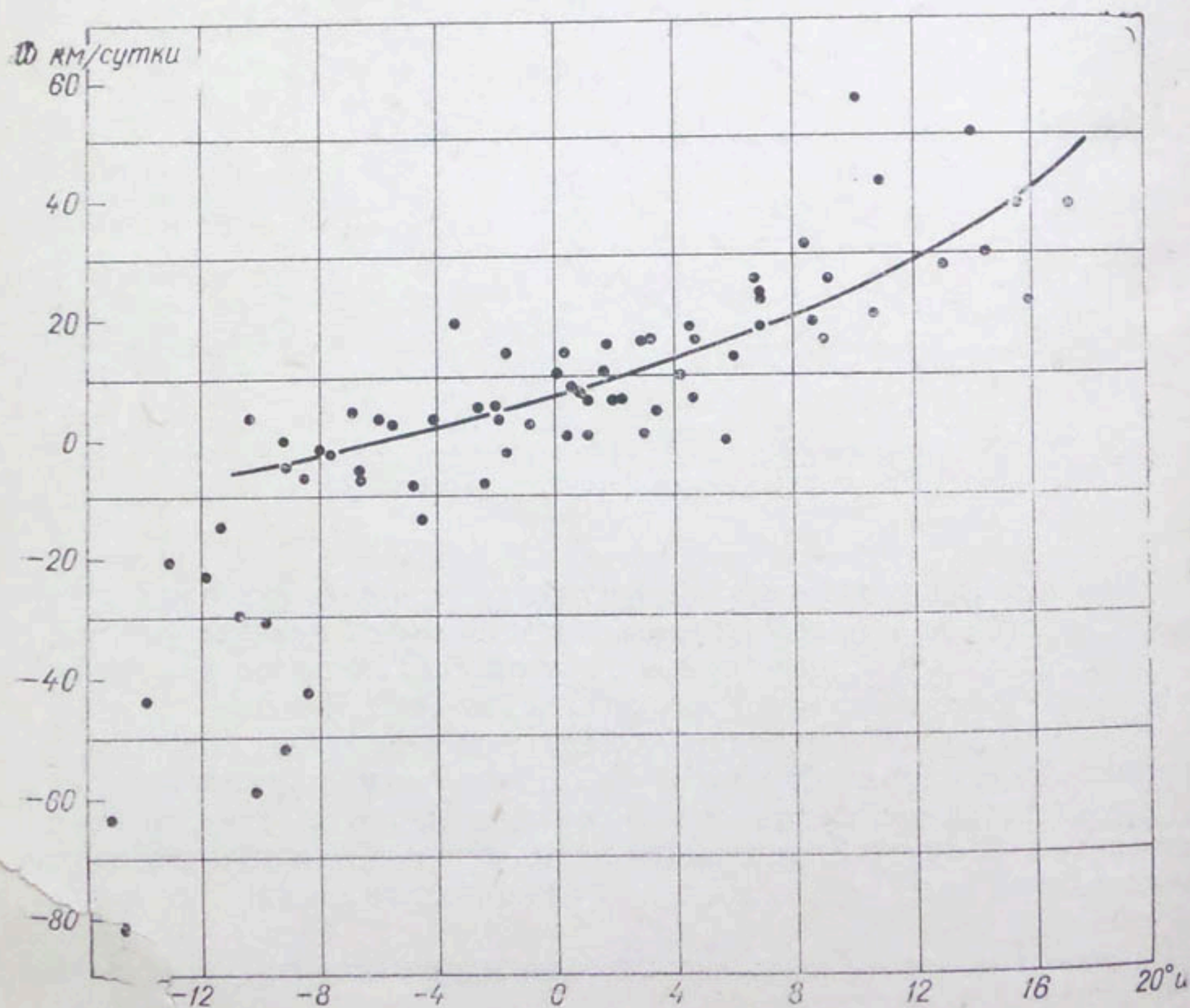


Рис. 19. Связь средних декадных значений скорости движения кромки льда (w) с температурой воздуха и воды $u = t_k + 5t_{50}$.

Средние декадные скорости движения кромки льда $w = \frac{\Delta l}{\Delta D_k}$
вниз по течению реки и толщина льда

Кромка льда				Толщина льда				
№ декады	дата	расстояние, км от — до	w км/сутки	D_h	пост	расстояние от устья, км	h см	D_k
1953-54 г.								
8	11—20/II	1025—961	6	15/II	Тюмень-Арык	972	12	16/II
12	21—31/III	986—650	3	25/III	Кзыл-Орда	654	56	31/III
13	1—10/IV	650—270	38	31/III	Кара-Узяк	621	50	1/IV
				31/III	Кармакчи	420	42	7/IV
14	11—14/IV	270—120	38	5/IV	Казалинск	147	57	14/IV
1954-55 г.								
2	11—20/XII	1435—1432	0	10/XII	Тюмень-Арык	972	10	1/XII
3	21—31/XII	1432—1400	3	31/XII	Ак-Кум	1042	37	2/XII
8	11—20/II	1140—1042	10	15/II	Ак-Кум	1042	54	20/II
				20/II	Тюмень-Арык	972	28	23/II
9	21—28/II	1042—835	26	20/II	Тюмень-Арык	972	28	23/II
10	1—10/III	835—699	14	10/III	Кзыл-Орда	654	56	15/III
11	11—20/III	699—420	28	15/III	Кара-Узяк	621	45	17/III
				15/III	Кармакчи	420	28	20/III
				15/III	Казалинск	147	47	23/III
1955-66 г.								
6	21—31/I	1500—1425	7	31/I	Байракум	1410	16	31/I
7	1—10/II	1425—1250	18	5/II	Ак-Кум	1042	48	6/II
10	1—10/III	1125—922	20	5/III	Тюмень-Арык	972	26	9/III
11	11—20/III	922—680	24	20/III	Кзыл-Орда	654	65	21/III
				20/III	Кара-Узяк	621	60	23/III
12	21—31/III	680—475	19	25/III	Кармакчи	420	48	2/IV
				31/III	Казалинск	147	52	6/IV
13	1—7/IV	475—127	50	31/III	Казалинск	147	52	6/IV
1956-57 г.								
5	11—20/I	1630—1600	3	10/I	Чардара	1525	8	4/I
8	11—20/II	1537—1483	5	15/II	Чардара	1525	36	15/II

Кромка льда				Толщина льда				
№ декады	дата	расстояние, км от — до	w км/сутки	D_h	пост	расстояние от устья, км	h см	D_k
10	1—10/III	1421—1200	22	5/III	Тюмень-Арык	972	37	14/III
11	11—20/III	1200—779	42	20/III	Кзыл-Орда	654	58	24/III
				20/III	Кара-Узяк	621	47	24/III
				20/III	Кармакчи	420	53	25/III
12	21—31/III	779—160	56	25/III	Казалинск	147	67	1/IV

1957-58 г.

1	1—10/XII	715—520	20	5/XII	Казалинск	147	15	23/XI
8	11—20/II	820—736	8	20/II	Кзыл-Орда	654	40	23/II
				20/II	Кара-Узяк	621	57	24/II
				20/II	Казалинск	147	40	7/III
9	21—28/II	736—520	27	20/II	Кзыл-Орда	654	40	23/II
				20/II	Кара-Узяк	621	57	24/II
				25/II	Кармакчи	420	25	2/III

1958-59 г.

5	11—20/I	1050—1000	5	15/I	Тюмень-Арык	972	10	7/I
6	21—31/I	1000—885	10	25/I	Тюмень-Арык	972	9	25/I
10	1—10/III	755—595	16	5/III	Кзыл-Орда	654	47	6/III
				5/III	Кара-Узяк	621	45	8/III
11	11—20/III	595—440	16	15/III	Кармакчи	420	40	23/III
12	21—31/III	440—187	23	31/III	Казалинск	147	52	2/IV
13	1—6/IV	187—0	31	31/III	Казалинск	147	52	2/IV

1959-60 г.

5	11—20/I	1420—1265	16	20/I	Утрабат	1245	22	21/I
6	21—31/I	1265—1145	11	20/I	Утрабат	1245	22	21/I
7	1—10/II	1145—985	16	10/II	Тюмень-Арык	972	23	10/II
8	11—20/II	985—823	16	10/II	Тюмень-Арык	972	23	10/II
9	21—29/II	823—663	18	29/II	Кзыл-Орда	654	34	1/III
				29/II	Кара-Узяк	621	62	2/III

Кромка льда				Толщина льда				
№ декады	дата	расстояние, км от — до	w км/сутки	D_h	пост	расстояние от устья, км	h см	D_k
10	1—10/III	663—510	15	29/II	Кзыл-Орда	654	34	1/III
				29/II	Кара-Узяк	621	62	2/III
12	21—31/III	520—453	6	31/III	Кармакчи	420	55	3/IV
13	1—10/IV	453—197	26	5/IV	Казалинск	147	85	12/IV

Примечание. D_h — дата измерения толщины льда h на посту, D_k — дата, когда кромка льда была на этом посту.

9. Скорость движения кромки льда в зависимости от толщины льда на гидрологических станциях

За 13 зим (с 1950-51 по 1962-63 гг.) была взята толщина льда h на всех постах Сырдарьи в дни D_h , ближайшие ко времени вскрытия реки, и сопоставлена со скоростью движения кромки льда между постами (табл. 15). При этом оказалось, что время прохождения кромки льда между двумя фиксированными точками (постами) ΔD от толщины льда h на этих постах не зависит. Однако если рассматривать среднюю декадную скорость движения кромки (т. е. фиксировать календарные сроки D_k) и с ней сопоставлять толщину льда на том участке, который она в ту же декаду прошла, то связь между этими величинами обнаруживается, хотя и слабая, но неожиданно прямая, т. е. чем толще был ледяной покров в данную декаду, тем быстрее двигалась кромка.

Это парадоксальное явление объясняется тем, что через толщину льда выражается место и сезон, так как ледяной покров наиболее толстым бывает ближе к устью реки и ближе к весне, а в этих местах и в это время кромка льда движется наиболее быстро, как говорилось выше и как это видно из табл. 15.

ДВИЖЕНИЕ ПАВОДКОВ

На бесприточном участке реки движение волны паводка часто представляется довольно простым: гидрограф паводка, наблюденного на верхнем посту, повторяется на нижнем посту с некоторой сдвижкой во времени и с небольшим искажением размеров и формы. Сдвижку во времени относят к характерным точкам, пикам и впадинам и называют временем добегания, или пробега. Время пробега принимается постоянным для всех фаз паводка или же считается стоящим в обратной зависимости от высоты паводка на верхнем посту. Вид этой зависимости находится эмпирически на основании изучения многих паводков.

Сказанное относится не только к паводкам, но и к другим изменениям расхода (возмущениям), переносимым вниз по реке. Например, закрытие на несколько часов отверстий плотины, начало интенсивного забора воды в каналы, затор льда и т. п. явления никак нельзя назвать паводками, но раз они произошли на данном посту или, точнее, в данном створе, то они уже являются некоторыми возмущениями движения водных масс в реке и передаются как вверх, так и вниз по реке, убывая с расстоянием в интенсивности. Одни возмущения быстро затухают, другие прослеживаются на больших расстояниях от места их возникновения. К последним относятся возмущения, связанные с изменением расхода воды в данном створе, которые прослеживаются вниз по течению тем яснее и тем дальше, чем больше было возмущение, т. е. чем больше было задержано или освобождено воды непосредственно выше поста за время возмущения. Такие паводочные возмущения переносятся вниз по течению приблизительно со средней скоростью течения реки. Вверх по течению они перемещаются на небольшие расстояния и сводятся к изменению величины подпора. Их мы рассматривать не будем.

Кроме действительных возмущений, на гидрографах обнаруживаются мнимые возмущения, связанные с ошибками измерения расходов воды и определения их по наблюденным уровням воды и кривым расходов.

Движение паводков часто рассматривают по хронологическим графикам уровня («гидрографам уровня»), которые предпочтительнее «гидрографов расходов», так как уровни содержат меньше ошибок, чем расходы. Однако уровни в сильной степени подвержены местным переменным подпорным влияниям при замерзании, ледоставе и вскрытии реки. Расходы же на изменение подпора реагируют гораздо меньше; однако действительные расходы нам не известны, поэтому приходится пользоваться вычисленными расходами, иногда настолько отягощенными ошибками, что они не отражают истинного хода стока воды. По этой причине преимущество расходов перед уровнями оказывается фиктивным.

Все эти возмущения приводят к тому, что гидрограф «переносится» от поста к посту со значительным искажением, притом тем большим, чем больше расстояние между постами. Особенно трудным становится сколько-нибудь точное определение времени пробега по характерным точкам (пикам, впадинам на гидрографе), которые оказываются вовсе не точками, а тупыми вершинами и тупыми же впадинами. Даже небольшой приток может так изменить форму гидрографа основной реки, что создается видимость значительного уменьшения или увеличения времени пробега. Еще больше влияют на определение времени пробега ледовые явления, создающие сильный переменный подпор и значительное увеличение или уменьшение расхода воды в реке в связи с разливом ее по берегам или при возвращении в русло.

1. Определение времени пробега воды для реки, свободной от льда

Вопрос о движении паводков отдельно в осеннюю межень по реке свободной от льда и при ледоставе был рассмотрен в работе [2], которая здесь излагается в исправленном и дополненном виде.

Определение времени пробега для осеннего сезона затруднительно, так как паводки в это время бывают очень небольшие и при движении вниз по реке настолько распластываются, что отыскивать на графике соответственные точки бывает очень трудно.

Приведенное в табл. 16 время пробега за 5 лет наблюдений найдено обычным способом, т. е. по соответственным пикам и впадинам, прослеженным за ноябрь и часть декабря.

Скорость движения паводков (точнее, характерных точек, фаз паводка) по Сырдарье от поселка Надеждинского до г. Казалинска при открытой реке в межень от поста к посту менялась незакономерно, а поэтому была принята для всей реки одинаковой и равной 90 км/сутки.

Для периода половодья скорости пробега были приняты по результатам работы отдела гидропрогнозов УГМС УзССР (Е. И. Гирник), полученным по материалам за 1955—1959 гг. (табл. 17), из

Время пробега и скорость движения характерных точек паводка при открытой реке в межень и при ледоставе

Участок	Длина, км	Время, сутки				Скорость, км/сутки			
		чисто, межень	ледо-став		чисто, поло-водье	чисто, межень	ледо-став		чисто, поло-водье
			а	б			а	б	
Кок-Булак — Тюмень-Арык	668	7,4	—	—	83—44	90	—	—	80—150
Тюмень-Арык — Кара-Узяк	351	4,8	5,9	5,0		73	60	70	
Кара-Узяк — Кармакчи	201	2,2	3,1	2,7		92	65	75	
Кармакчи — Казалинск	273	3,0	3,6	3,6		91	76	76	

Примечание. Определения произведены по способу прослеживания отдельных пиков и впадин (а) и по способу наложения хронологических графиков ежедневных уровней (б).

которых 1957 г. был маловодным, 1958 и 1959 гг. — многоводными, а оставшиеся два — близкими к средним по водоносности. В этой работе время добегания отдельно для пиков и впадин приведено в виде графиков зависимости его от уровня, с которых нами были сняты ординаты, пересчитанные затем в скорости.

Из данных табл. 17 видно, что

- а) скорость, как правило, растет с ростом уровня воды;
- б) впадины движутся быстрее пиков, противореча тем самым принятым нормам, что можно объяснить случайностью, связанной

Таблица 17

Скорость движения по реке характерных точек гидрографа в зависимости от уровня на верхнем посту (км/сутки)

Участок	Длина, км	Уровень, см							
		0—50	51—100	101—150	151—200	201—250	251—300	301—350	
Кок-Булак — Тюмень-Арык	668	—	—	95	95	111	133	133	Пик
		83	89	95	102	121	148	—	Впадина
		83	89	95	98	115	139	133	Среднее
Байракум — Тюмень-Арык	420	74	76	79	84	91	104	114	Пик
		74	76	82	91	103	121	155	Впадина
		74	76	81	87	95	112	132	Среднее

с проведением линии регрессии среди сильно разбросанных точек на графике;

в) для низких уровней скорость характерных точек колеблется в пределах 75—100 км/сутки, если не считать отдельных, надо полагать, случайных сведений.

2. Определение времени пробега воды при ледяном покрове

Уровень воды подо льдом изменяется, как указывалось выше, не только под влиянием колебаний расхода воды, но и из-за изменения пропускной способности русла, связанной с различиями в распределении ледяных масс по длине реки и во времени. Поэтому к выбору характерных соответственных точек надо было подходить осторожно, чтобы не смешать заторно-зажорные подъемы или спады уровня с подъемами и спадами, обусловленными изменениями расхода воды в реке.

Определение времени пробега делалось двумя способами. По первому способу на хронологических графиках средних суточных уровней воды по ряду станций прослеживалось движение одной характерной точки (пика или впадины) от поста к посту вниз по реке, пока след ее не терялся среди разных случайных колебаний. При таком способе в одни годы может быть найдено по несколько точек, в другие — ни одной. По второму способу тот же график использовался иначе. График хода уровня у Казалинска наносился на кальку и накладывался последовательно на такие же графики других постов, расположенных выше по течению, таким образом, чтобы получалось наиболее полное совпадение всего пика или впадины, или совпадение всего графика за период ледостава. При этом способе обычно получалось всего по одному определению за год.

Продолжительность пробега воды довольно сильно варьирует. Например, от Тюмень-Арыка до Кара-Узяка она наиболее часто составляла 5 суток, но случалось, что пробег осуществлялся и за 2, и за 7 суток. Несомненно, такая большая разница во времени пробега является результатом влияния ледовых процессов на ход уровня воды, создающих на гидрографе свои пики и впадины. Но ледовые процессы влияют на время пробега, как уменьшая, так и увеличивая его, поэтому на средней величине пробега это влияние, надо полагать, сказывается незначительно.

В табл. 16 приведены средние значения времени пробега и скорости движения характерных точек паводка для четырех основных участков реки. Изменения скоростей движения при переходе от участка к участку и от одного метода определения времени пробега к другому, по-видимому, случайны. В среднем скорость пробега составляет 75 км/сутки, которая и принимается для дальнейших расчетов при ледяном покрове.

Была предпринята попытка проконтролировать эту величину с помощью результатов измерения расходов воды и средних

скоростей течения при ледоставе, взятых за многолетний период. Для этого были построены графики связи между двумя указанными величинами для каждого поста в отдельности. Задаваясь скоростью $75 \text{ км/сутки} = 0,87 \text{ м/сек.}$, по графикам были найдены соответствующие ей расходы воды, которые оказались существенно больше многолетних средних месячных расходов, а скорость течения, соответствующая многолетнему среднему расходу воды за ноябрь — март, составила всего $50—60 \text{ км/сутки}$ вместо ожидаемых 75 км/сутки . Движение характерных точек гидрографа (фаз) может проходить со скоростью, превышающей среднюю скорость течения воды, но не на такую большую величину, как здесь. По данным Б. А. Аполлова [1, стр. 48, 49], эти скорости близки друг к другу.

Объясняется ли завышение скорости движения характерных точек гидродинамическими причинами или же связано с несовершенством примененной обработки материалов наблюдений, сказать трудно. Быть может, оно получилось из-за того, что удавалось прослеживать движение только довольно больших паводков, обладающих повышенной скоростью, а медленно движущиеся, слабо выраженные паводки ускользали из внимания, поскольку они быстро затухали. С другой стороны, можно и усомниться в пригодности средней скорости течения для характеристики скорости движения характерных точек при ледоставе.

Рассмотрев скорость движения характерных точек паводка, можно перейти к установлению связи между ними. Для реки, свободной от льда, которая является объектом нашего исследования, мы ограничимся зависимостью (рис. 26), представляющей связь между соответственными ежедневными расходами.

3. Связи между соответственными средними декадными расходами и уровнями воды при ледоставе. О точности определения расходов и уровней воды

Было найдено, что

1) связи между уровнями и расходами воды в Кок-Булаке, с одной стороны, и этими же величинами на ниже расположенных постах, с другой, имеются только для реки свободной от льда; при ледоставе на нижнем посту и при фазе «чисто» в Кок-Булаке указанные связи отсутствуют;

2) если на обоих сравниваемых постах была фаза «чисто», то: а) связь большей частью бывает теснее тогда, когда на нижнем посту берется уровень, а не расход; б) с уровнями и расходами на нижних постах уровень воды в Кок-Булаке связывается не хуже, чем расход.

Указанные графики связи были построены для каждой зимы в отдельности (всего за 9 зим).

Отсутствие связи между соответственными расходами при ледоставе нельзя объяснить неверно выбранным временем добегания,

так как в таком случае связь отсутствовала бы и при реке, свободной от льда, чего на самом деле не наблюдается. Кроме того, эту ошибку можно было бы легко обнаружить и исправить, изменяя время добегания. Однако расположение точек на соответствующих графиках таково, что никакими поправками на время добегания нельзя сделать эти связи теснее. Искусственным забором воды в каналы, который невелик, также нельзя объяснить отсутствие связи между соответственными расходами при ледоставе.

Замечено, что колебания расходов воды в Кок-Булаке обычно в несколько раз меньше, чем на других ниже расположенных постах при ледоставе. Это показывает, что главная причина колебания расхода воды в низовьях реки при ледоставе лежит не в Кок-Булаке, а между Кок-Булаком и Тюмень-Арыком и ниже. Причину мы уже называли — это переменный подпор, создаваемый неподвижными и движущимися ледяными образованиями. На разных участках реки в разное время она проявляется по-разному. То ее действие сводится лишь к увеличению площади водного сечения русла, то к выходу больших водных масс из берегов в разливы, что на ниже расположенных постах сказывается уменьшением расхода воды в первом случае на меньшую и во втором на большую величину. Мы имели в виду истинные расходы воды, в действительности же приходится иметь дело с измеренными (и вычисленными) величинами, включающими ошибки измерения и расчета и вмещающими неучтенные объективные причины. Таким образом, по изменению среднего расхода или уровня воды в Кок-Булаке от декады к декаде нельзя предсказать сколько-нибудь надежно изменение расхода и уровня воды под льдом на нижних постах реки.

Итак, мы пришли к выводу, что причиной отсутствия связи между расходами воды при ледоставе в Кок-Булаке и расходами воды на постах Тюмень-Арыке, Кзыл-Орде и т. д. могут быть процессы перераспределения воды между отдельными участками реки, вызванные ледовыми образованиями, а также ошибки наблюдения.

Действие процессов перераспределения воды между отдельными участками реки должно убывать при уменьшении расстояния между сравниваемыми постами, и поэтому связь между соответственными расходами воды должна появиться, когда расстояние между сравниваемыми постами достигнет достаточно малой величины. В действительности мы и обнаруживаем прямую, хотя и слабую связь между средними декадными расходами воды за зиму 1955-56 г. в Тюмень-Арыке и Кзыл-Орде, расстояние между которыми примерно в два раза короче, чем между постами Кок-Булаком и Тюмень-Арыком. При аналогичном сравнении расходов воды на постах Тюмень-Арыке и Кармакчах, а также Тюмень-Арыке и Казалинске за ту же зиму связь хотя и сохраняется, но теснота ее делается меньше в соответствии с увеличившимся расстоянием между постами. Примерно то же получается при замене расхода на уровень. Похожие прямые связи наблюдаются для некоторых зим. Но наряду

с этим имеются зимы (например, 1953-54 г.), в которые подобные связи отсутствуют или они очень слабые.

Связь между расходами воды при ледоставе становится тесной, когда расстояние между сравниваемыми постами совсем короткое, как это видно при сравнении расходов воды на постах Кзыл-Орде и Кара-Узяке (рис. 20), расстояние между которыми составляет всего около 30 км, т. е. менее полусуточного пробега воды.

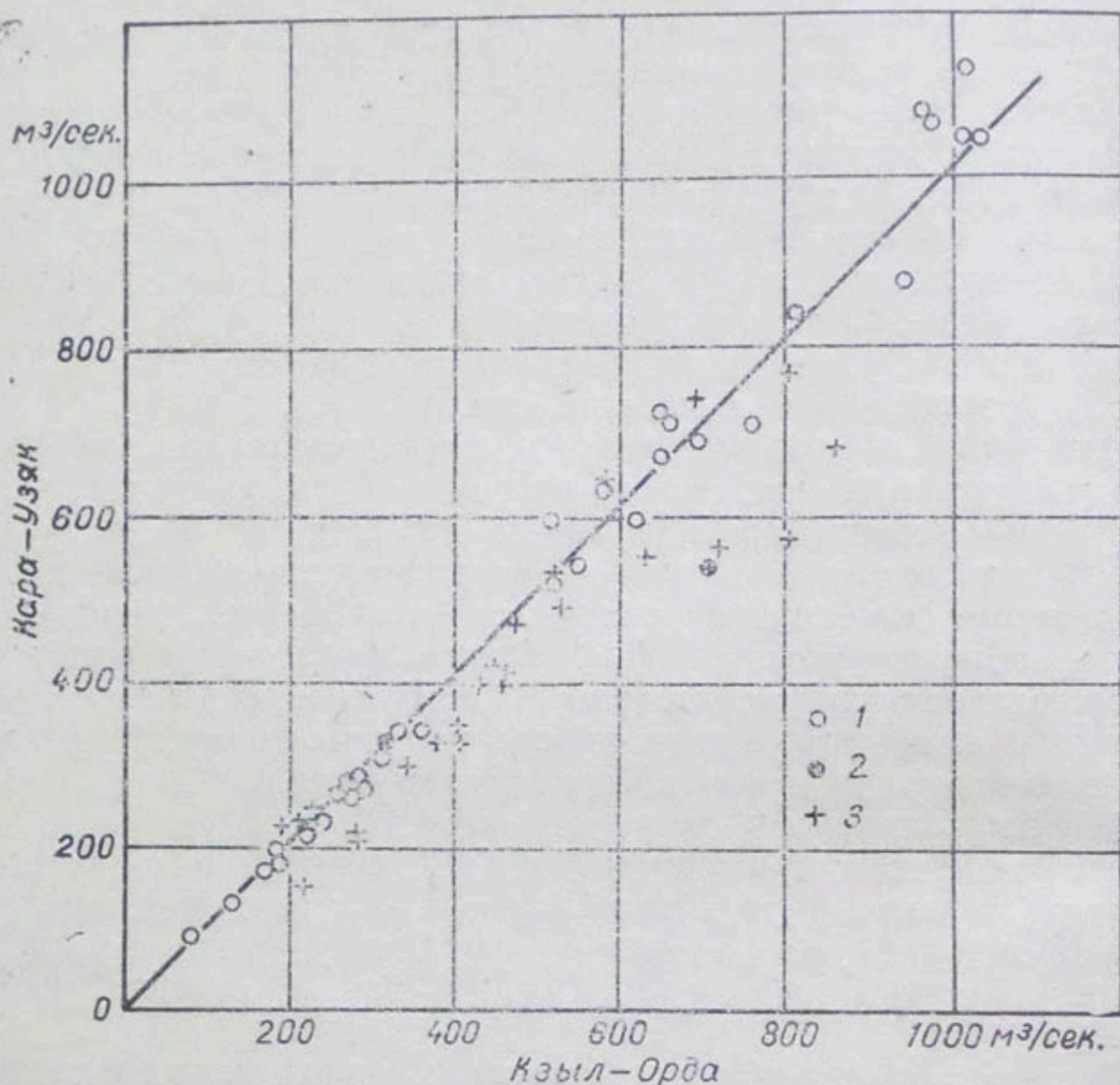


Рис. 20. Связь между средними декадными расходами воды в Кара-Узяке и Кзыл-Орде при ледоставе за четыре зимы.

1 — чисто, 2 — на одном из постов ледостав, 3 — на обоих постах ледостав.

Эта связь, построенная по материалам четырех зим, оказалась не только тесной и общей для всех этих зим. Она с несомненностью показывает, что ошибки в измерении и интерполяции расходов воды не могут уничтожить связь между расходами на двух постах, если таковая в действительности существует. Они могут исказить ее, иногда существенно, как это видно из расположения пяти точек на рис. 20, значительно отклоняющихся вправо от биссектрисы координатного угла, т. е. расход воды в Кзыл-Орде оказывался существенно больше (до 220 м³/сек.), чем в Кара-Узяке. Однако и в этом

случае еще не доказана возможность больших ошибок, так как возможно, что вода в большом количестве уходила в пустыню, в разливы.

Совершенно иной характер имеют связи расходов воды в Кок-Булаке с расходами на нижних постах, которые показывают, что расходы воды, например, в Кзыл-Орде при ледоставе никак не реагируют на изменение расходов воды в Кок-Булаке, и причиной этому служит в основном регулирующее влияние ледяного покрова на

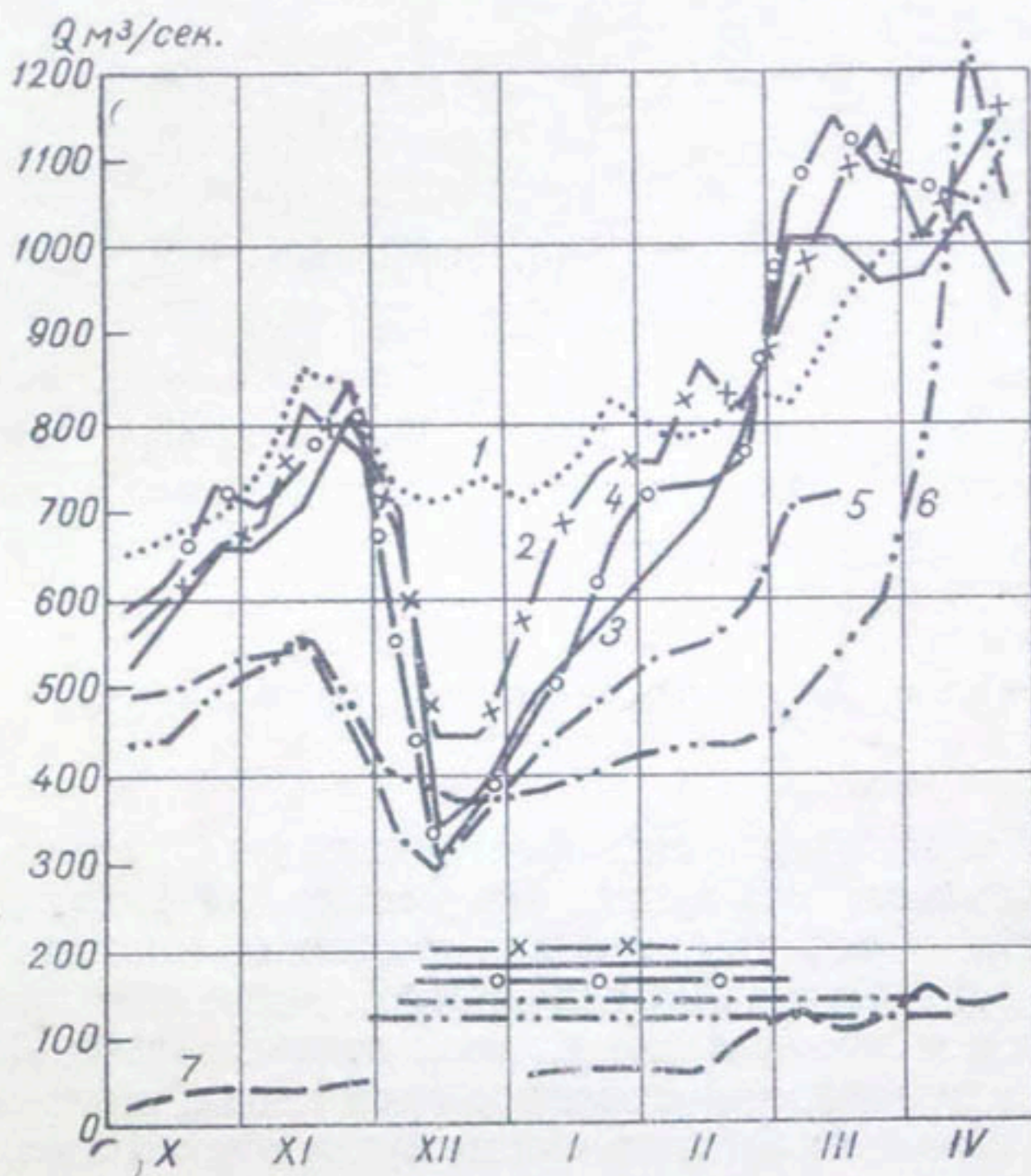


Рис. 21. Хронологический график средних декадных расходов воды по семи постам за 1959-60 г.

1 — Кок-Булак, 2 — Тюмень-Арык, 3 — Кзыл-Орда, 4 — Кара-Узяк (суммарные), 5 — Кармакчи (суммарные), 6 — Казалинск, 7 — Арысь-Тимур.

расход воды в реке, а не ошибки измерения и обработки, чему противоречили бы данные рис. 20.

Итак, лишь при малых расстояниях между постами в средних декадных расходах воды наблюдается удовлетворительное соответствие, характеризующее закономерное изменение гидрологических процессов по длине реки. С расстоянием эта связь делается все более слабой, затухаясь побочными процессами (помехами).

На участке Кзыл-Орда — Кара-Узяк наблюдаются потери, так как почти все точки, соответствующие периоду ледостава, лежат

Сравнение средних декадных расходов воды

Зима	Пост	X			XI			XII		
1959-60	КО	515	581	654	655	711	811	708	337	378
	КУ	594	633	725	706	755	840	539	303	382
	Приточность	79	52	71	51	44	29	—169	—34	4
1960-61	КО									
	КУ									
	Приточность									
1961-62	КО	169	223	257	281	283	312	334	309	271
	КУ	166	226	255	283	282	311	335	333	276
	Приточность	—3	3	—2	2	—1	—1	1	24	5
1962-63	КО	187	236	221	239	284	287	216	278	397
	КУ	180	227	214	232	276	224	149	223	352
	Приточность	—7	—9	—7	—7	—8	—63	—67	—55	—45

Примечание. Подчеркнутое — расходы при ледоставе.

ниже линии равных величин, проведенной на графике (рис. 20). Такие потери вполне возможны, так как при заторах вода из реки может уходить в разливы, так как местность местами снижается в сторону от реки. Однако большие потери и даже приточность иногда наблюдаются и на реке, свободной от льда (табл. 18), чего не может быть в холодное, маловодное время года. Надо думать, что в некоторые и притом большие промежутки времени декадные расходы определяются с достаточной точностью, но зато в другие периоды ошибки достигают больших величин. Первое доказать довольно трудно, но найти случаи второго весьма легко.

Так, зимой 1959-60 г. на участке Кзыл-Орда — Кара-Узяк наблюдалось систематическое необъяснимое увеличение расходов воды в размере около 10% и лишь в начале ледостава приточность сменяется потерей, достигающей 169 м³/сек. (или 24%) в течение одной декады; наоборот, в следующую зиму 1960-61 г. отмечаются систематические потери, достигающие 277 м³/сек. за декаду (более 30%). Чтобы допустить подобные потери за счет задержки воды в русле на расстоянии 33 км при ширине русла 300 м в течение одной только декады, необходимо поднять уровень воды на всем протяжении участка на 24 м, что невозможно. Если потери можно было бы объяснить выходом реки из берегов в разливы, то приточность уж никак объяснить нельзя, так как она по нашей таблице ежедневно превышала 100 м³/сек. в течение 20 суток.

в Кзыл-Орде (КО) и Кара-Узьяке (КУ)

I			II			III			IV		
473	524	581	643	690	798	1010	1010	963	967	1030	941
467	532	670	730	728	769	1049	1144	1080	1060	1050	881
—6	8	89	87	38	—29	39	134	117	93	20	—60
398	456	529	630	722	795	957	647	688	618	546	521
326	403	493	546	559	577	680	671	694	601	536	517
—72	—53	—36	—84	—163	—218	—277	24	6	—17	—10	—4
227	186	206	376	465	450	451	362	267	184	126	81
251	226	228	337	410	417	404	335	255	188	134	88
24	40	22	—39	—55	—33	—47	—27	—12	4	8	7

Итак, мы всегда должны быть готовы к встрече с большими ошибками в расходах воды.

Представив ход расходов за 1959-60 г. графически (рис. 21), можно обнаружить в нем ряд особенностей. До ледостава, в октябре и ноябре, наблюдается согласный ход расходов на всех постах, если их разбить на две группы: 1) Кармакчи и Казалинск и 2) все остальные посты. При этом в пределах каждой группы расходы на всех постах наблюдались примерно одинаковые, но они очень сильно разнились в различных группах. На участке Кара-Узьяк—Кармакчи наблюдались большие потери, достигающие 50%. На верхней группе постов при наступлении ледостава расходы воды уменьшались примерно в два раза, а затем в январе и феврале восстанавливались до исходной величины, тогда как на постах нижней группы аналогичное колебание было незначительным, особенно в Казалинске. Потери на участке Кара-Узьяк—Кармакчи составляли большую величину не только до ледостава, но и во время ледостава: почти всю зиму до Казалинска доходило немногим более половины той воды, которая наблюдалась в Кара-Узьяке.

Переходим теперь к исследованию соответствующих уровней по ежедневным данным. Оперировать ежедневными расходами вряд ли было бы целесообразным, так как к нерегулярному влиянию заторных процессов на уровень сюда добавляются многочисленные ошибки измерения и интерполяции расходов воды.

4. Связи между ежедневными уровнями воды при ледоставе

Ранее описанные графики связи между соответственными средними декадными расходами и уровнями представляли мало простора для гидрологической интерпретации их благодаря осреднению величин за такой большой промежуток времени, как декада. Использование ежедневных данных позволяет рассматривать подобные связи как иллюстрацию движения паводков вниз по течению реки.

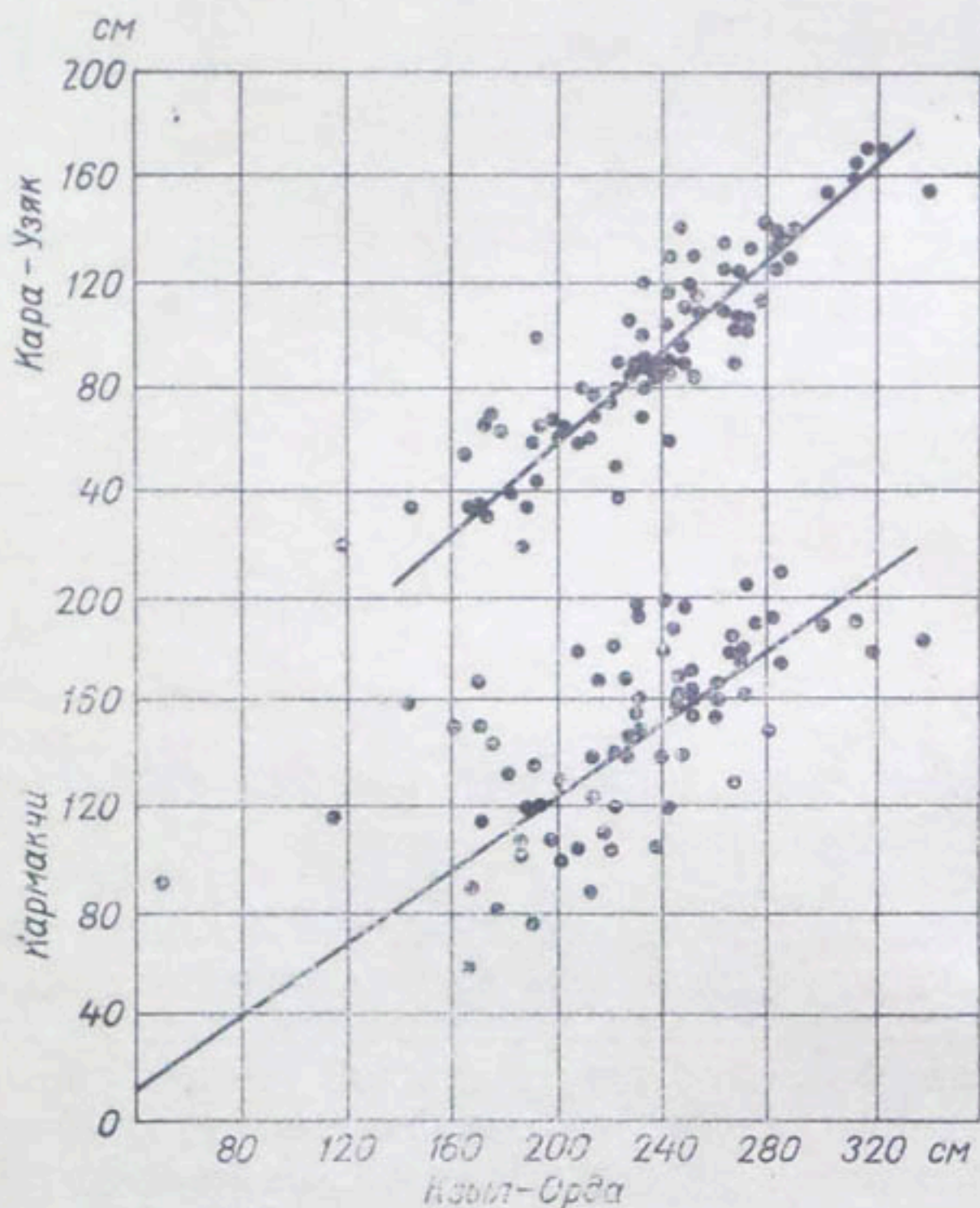


Рис. 22. Зависимость между соответственными уровнями воды в Кзыл-Орде, Кара-Узяке и Кармакчах.

Изменение расхода воды в реке, покрытой льдом, происходит по двум причинам: а) изменения расхода воды на участке реки выше кромки льда, связанного с изменением количества поступающей воды из водосбора и б) перераспределения воды между отдельными участками реки, возникающего благодаря ледовым процессам, особенно вследствие движения кромки льда.

В свою очередь колебания уровня воды в данном пункте также можно разделить на две категории: а) на колебания, связанные с общим изменением расхода воды в реке, отмечаемом на посту Кок-

Булаке (или Чардаре), и б) на колебания, не связанные с этим явлением, так как уровень может повыситься или понизиться от местного изменения расхода, происшедшего выше рассматриваемого пункта и вызванного русловым регулированием, а также от изменения пропускной способности русла ниже поста или на самом посту, обусловленного усилением или ослаблением заторно-зажорных явлений в реке.

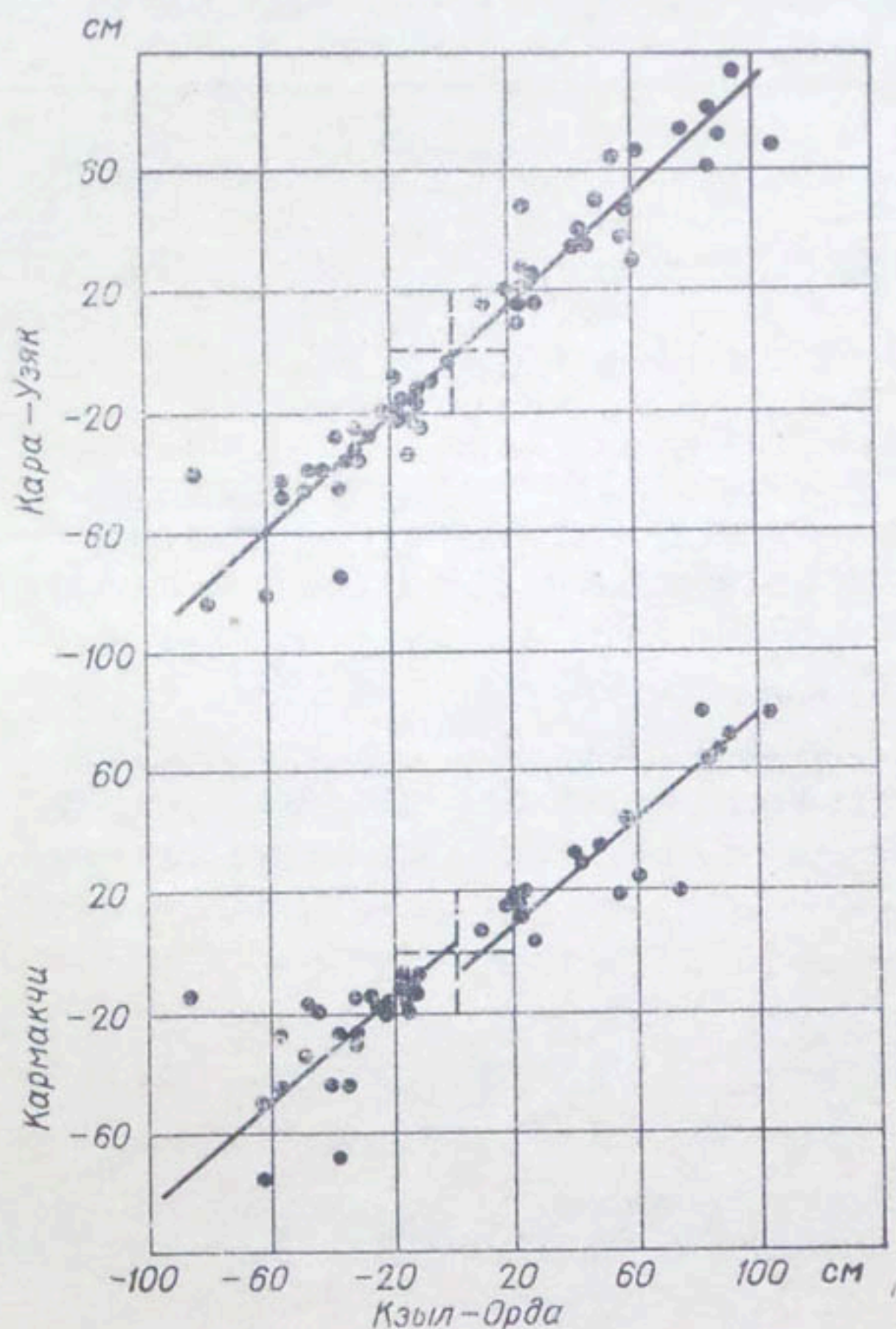


Рис. 23. Зависимость между соответственными высотами паводков в Кзыл-Орде, Кара-Узяке и Кармакчах с учетом знаков (разность — последующая впадина минус предыдущий пик — считается отрицательной).

Связи между ежедневными соответственными уровнями при ледоставе оказались не очень тесными даже для таких близко расположенных постов, как Кзыл-Орда и Кара-Узяк (рис. 22), расстояние между которыми составляет всего 30 км, не говоря уже о постах, удаленных друг от друга на значительные расстояния, где

они еще слабее. Так, обеспеченность связи¹ между соответствующими уровнями в Кзыл-Орде и Кара-Узьяке составила 89%, а для постов Кзыл-Орды и Кармакчей (расстояние 234 км) — всего 67%, так что в этом отношении ежедневные уровни оказались не лучше

Таблица 19

Параметры связей между соответственными уровнями и связей между превышениями гребней паводков над их подошвами (высотами паводков) при ледоставе

Участок	Длина, км	Соответственные уровни $H_n = aH_v + b$		Высоты паводков $\Delta H_n = a\Delta H_v + b$					
		общие для подъема и спада		подъем		спад		общие для подъема и спада	
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тюмень-Арык — Кзыл-Орда	318	0,62	113	0,79	—3	0,70	7	0,65	5
Тюмень-Арык — Кара-Узяк	351	0,44	13	0,76	—2	0,75	8	0,74	3
Тюмень-Арык — Кармакчи	552	0,27	82	0,63	—4	0,62	7	0,53	3
Тюмень-Арык — Казалинск	825	0,74	0	0,74	—6	0,65	16	0,56	9
Кзыл-Орда — Кара-Узяк	33	0,88	—114	0,95	0	1,12	5	0,94	0
Кзыл-Орда — Кармакчи	234	0,70	—14	0,88	—6	0,89	4	0,74	2
Кзыл-Орда — Казалинск	507	1,11	—134	0,89	—2	0,97	18	0,74	5
Кара-Узяк — Кармакчи	201	0,93	65	0,92	—4	0,89	6	0,78	3
Кара-Узяк — Казалинск	474	1,18	—21	1,04	—12	0,99	14	0,84	7
Кармакчи — Казалинск	273	1,30	—78	1,08	0	1,01	7	0,98	4

Примечание. H_n — уровень на нижнем посту, H_v — уровень на верхнем посту, ΔH_n — высота паводка на нижнем посту, ΔH_v — высота паводка на верхнем посту.

декадных. Зависимости становятся теснее, если связывать не уровни, а их изменения в виде превышений гребней паводков над их подошвами (рис. 23). Малая теснота связей между соответственными уровнями объясняется, как указывалось выше, влиянием ледяного покрова на высоту уровня, которое изменяется как по длине,

¹ Под обеспеченностью связи понимается число точек (%), отклоняющихся от линии регрессии не больше, чем на 20% расчетной амплитуды. Последняя определяется как разница между крайними членами убывающего ряда изменений уровня воды за время заблаговременности, с концов которого выброшено по 2,5% числа всех членов полного ряда.

так и во времени. Аналогичное влияние на связь между соответственными уровнями оказывают разливы реки между рассматриваемыми постами, приводящие к уменьшению расхода воды. Заменяя уровень разностью двух его значений, тем самым в известной мере освобождаемся от этих влияний, что и приводит к увеличению тесноты второй связи по сравнению с первой.

В связях второго рода (рис. 23) при внимательном рассмотрении обнаруживаются две ветви: отдельно для положительных (подъем) и отдельно для отрицательных (спад) изменений уровня. Они представляют кривые, проходящие через начало координат, с выпуклостью, обращенной к оси уровней верхнего поста. В первом приближении обе ветви можно считать прямыми. Так как параметры уравнений этих прямых различаются мало (табл. 19, графы 5—8), то уравнения можно объединить, что позволяет графики связи второго типа строить, не учитывая направления (знака) изменения уровня. При этом теснота связей (качество метода) не снижается, хотя кажущийся разброс точек увеличивается, так как амплитуда изменения сравниваемых величин сокращается приблизительно вдвое.

Графики, построенные этим способом, здесь не приводятся. Линии связи на них были представлены ломаными, которые затем были перенесены на рис. 24. Из табл. 19 и графиков связи были сделаны следующие выводы:

1) теснота связи убывает с увеличением расстояния между сравниваемыми постами, как это и следовало ожидать;

2) с увеличением расстояния происходит сглаживание паводковых волн, т. е. впадины на хронологическом графике уровня постепенно заполняются, а возвышения снижаются и расширяются. Это

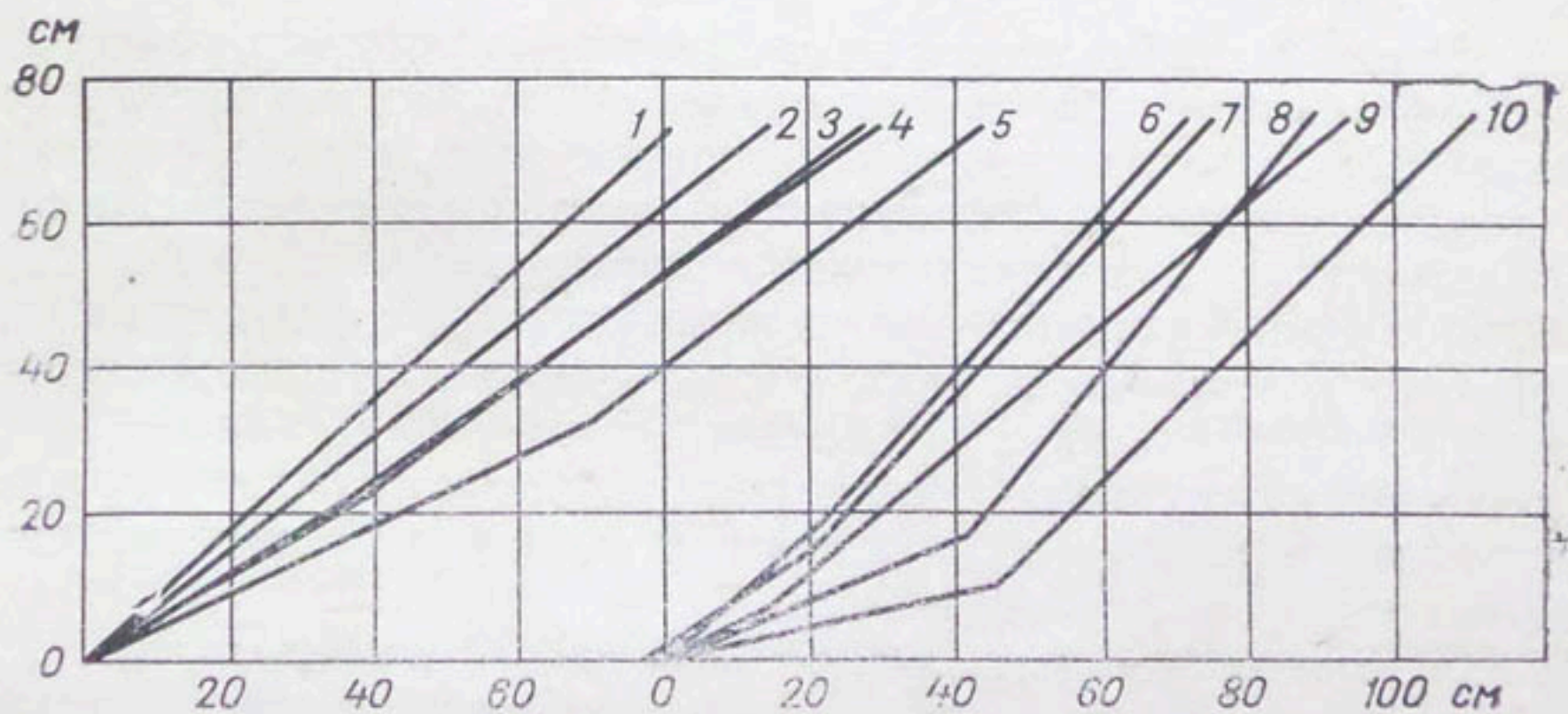


Рис. 24. Линия связи между высотами паводков (превышение пиков паводков над их подошвами) при ледоставе.

На вертикальной оси отложена высота паводка на нижнем посту, на горизонтальной оси — высота паводка на верхнем посту. 1 — Кзыл-Орда — Кара-Узяк, 2 — Кзыл-Орда — Кармакчи, 3 — Тюмень-Арык — Кзыл-Орда, 4 — Тюмень-Арык — Кара-Узяк, 5 — Тюмень-Арык — Кармакчи, 6 — Кармакчи — Казалинск, 7 — Кара-Узяк — Казалинск, 8 — Кзыл-Орда — Казалинск, 9 — Кара-Узяк — Кармакчи, 10 — Тюмень-Арык — Казалинск.

обстоятельство в табл. 19 выражается в том, что угловой коэффициент линии связи уменьшается с расстоянием;

3) затухание паводков в зависимости от пройденного ими пути количественно отражено на рис. 25, являющемся обобщением связей типа рис. 23.

На рис. 25 на вертикальной оси отложена высота паводка на нижнем посту при условии, что на верхнем посту паводок имел вы-

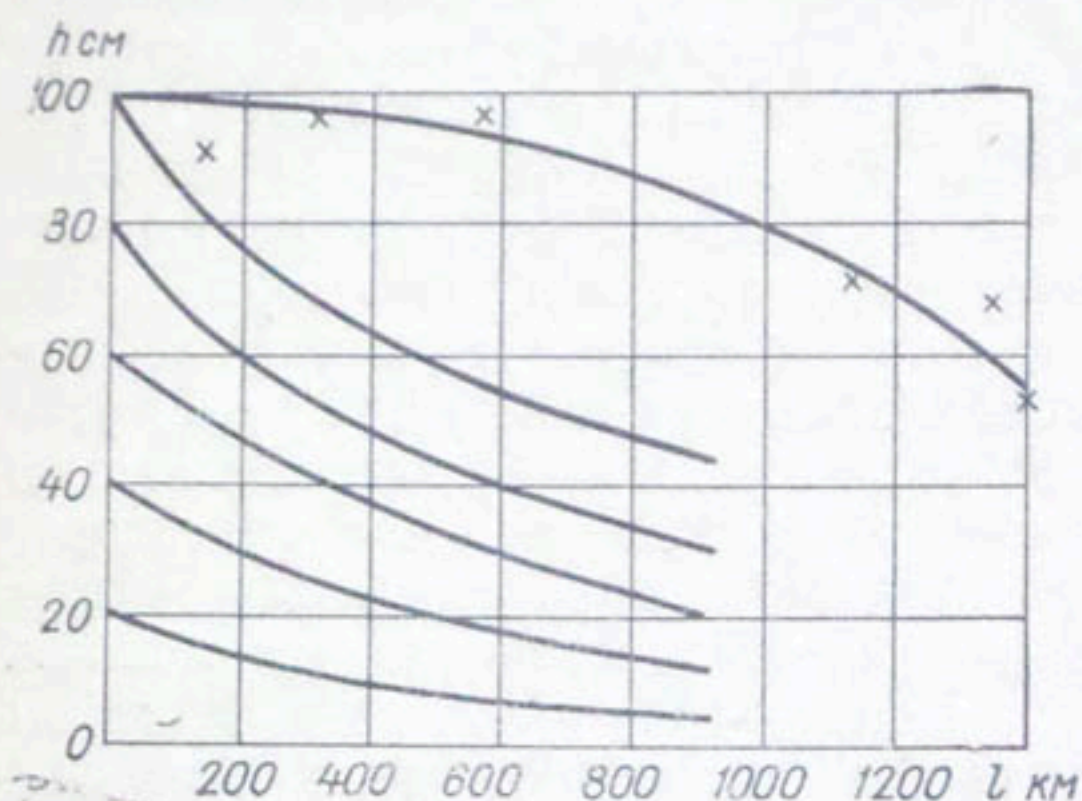


Рис. 25. Изменение высоты паводка (h) в зависимости от пройденного им расстояния.

Верхняя линия относится к участкам, начинающимся от поста Чардара.

кривой соответствует паводок на верхнем посту с высотой 40 см, третьей — 60 см, четвертой — 80 см и пятой, самой верхней, — 100 см.

С кривых рис. 25 были сняты ординаты и по ним на рисунок типа рис. 23 были нанесены «теоретические» кривые соответственных уровней. На большинстве графиков теоретические кривые среди точек располагаются удовлетворительно, на других (в первую очередь для Казалинска) они нуждаются в корректировке.

Теоретические кривые нам понадобились для того, чтобы, во-первых, количественно характеризовать распластывание паводков в связи с пройденным ими расстоянием и, во-вторых, более правильно, с меньшим произволом провести линии связи на каждом графике. Согласованию формы и положения нескольких кривых на одном чертеже как раз и служит рис. 25.

Зависимости типа рис. 23 в общем слабые, но некоторые из них достаточно точны для использования при предсказании по ним изменения уровня воды. Для этого наблюденная или каким-то образом рассчитанная высота паводка или глубина впадины на верхнем посту откладывается на горизонтальную ось соответствующего графика и по средней линии связи находится высота подъема или спада уровня на нижнем посту, отвечающая средним условиям. Величины, соответствующие крайним, т. е. особенно благоприятным и особенно

неблагоприятным условиям, можно рассчитать, ориентируясь на точки наиболее далеко отклоняющиеся от средней линии связи.

Хотя теснота линий связей (см. рис. 23) большей частью низкая, все же эти графики могут пригодиться для получения общего представления об изменении уровня на нижнем посту при наблюдаемом или рассчитанном изменении уровня воды на верхнем посту. При этом нужно учитывать скорость движения паводков, равную 75—100 км/сутки.

Связи между соответственными уровнями воды в Кок-Булаке и на ниже расположенных постах были настолько слабы, что в свое время в статье [2] они вовсе не получили отражения. Теперь их рассмотрим отдельно, так как они представляют для нас наибольший интерес, поскольку попусками из Чардаринского водохранилища должен регулироваться уровень воды в реке в опасных местах и в опасное время.

5. Зависимость между ежедневными соответственными уровнями воды в Чардаре (Кок-Булаке) и на нижележащих постах

Связи между соответственными уровнями мы рассматривали пока для постов, расположенных ниже Тюмень-Арыка. Теперь рассмотрим такие же связи уровня воды Кок-Булака с уровнем на всех остальных постах. Для ежедневных расходов мы ограничимся рис. 26, представляющим связь между соответственными расходами в Тюмень-Арыке и Кок-Булаке. Для установления связи между соответственными уровнями холодного времени года было прослежено движение пиков и впадин, связанных с изменением расхода воды в Кок-Булаке за 11 зим (1952—1963 гг.). Мы стремились проследить эти точки как можно дальше вниз по течению вплоть до Казалинска. Однако больше чем в половине зим это удавалось сделать только до верхних постов (выше Тюмень-Арыка). Ниже, на замерзших и замерзающих или вскрывающихся участках это соответствие исчезало. Например, глубокая впадина, глубиной 75 см, наблюдавшаяся в Кок-Булаке 26 декабря 1948 г., не получила своего отражения даже в Тюмень-Арыке, не говоря уже о постах, расположенных ниже. Ясно, что в этом случае ход уровня определялся не колебанием расхода в Кок-Булаке, а ледовыми процессами, происходящими где-то на протяжении реки от Кок-Булака до Тюмень-Арыка. На постах, расположенных ниже Тюмень-Арыка, наблюдались свои впадины, не имеющие никакого отношения к впадинам Кок-Булака, так как они проходили на несколько дней позже или раньше положенного срока. Форма паводка претерпевает сильные изменения, причем каждый раз по-разному. Так, постепенное повышение уровня, начавшееся в Кок-Булаке 22 февраля 1953 г., продолжалось 13 суток в реке, свободной от льда, тогда как в Кзыл-Орде этот подъем произошел скачком всего за два дня. Особенно

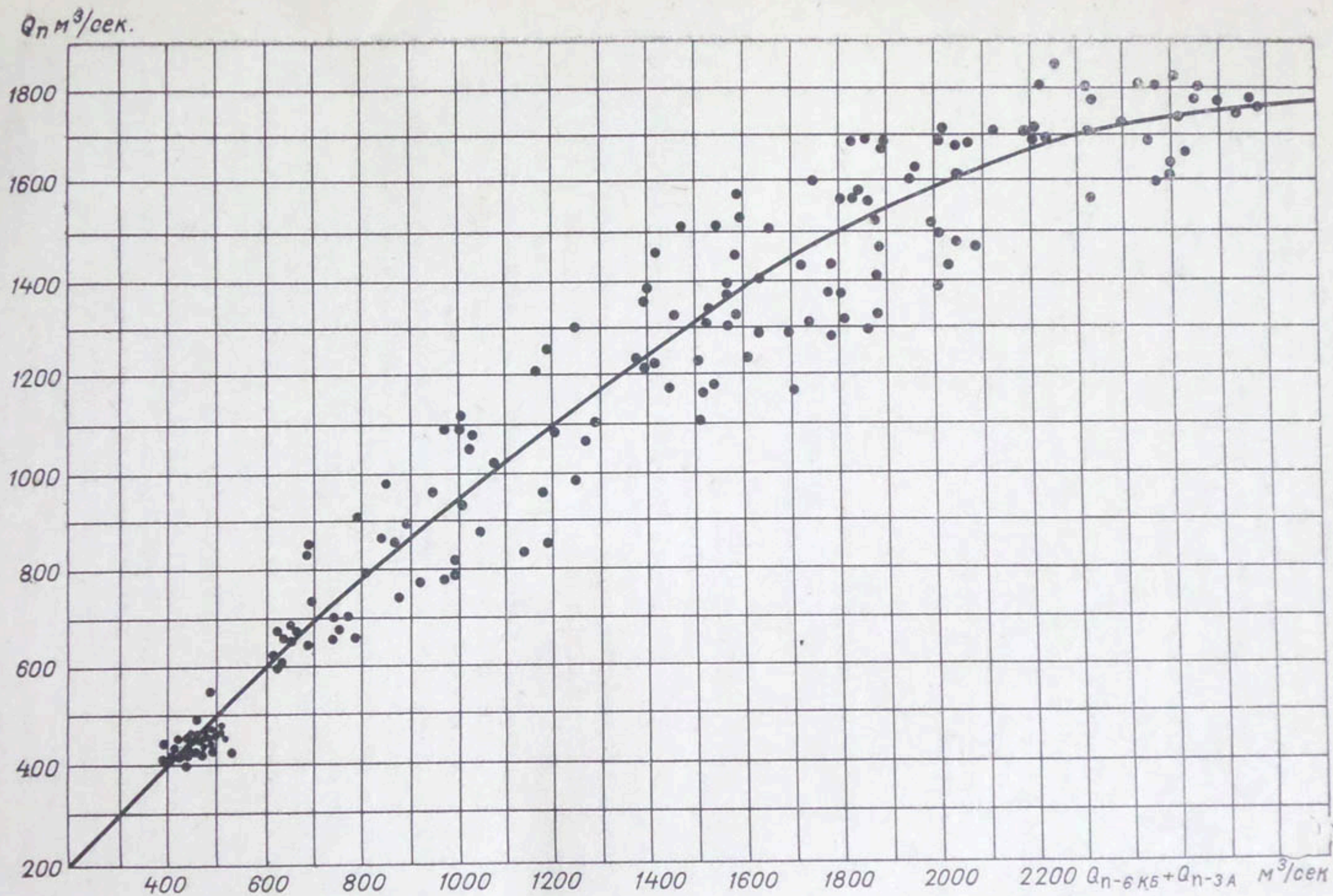


Рис. 26. Зависимость между соответственными расходами в Кок-Булаке с учетом расхода р. Арыси ($Q_{n-6 \text{ KB}} + Q_{n-3 \text{ A}}$) и Тюмень-Арыке (Q_n) за апрель — сентябрь 1958 г., по данным Е. И. Гирник. n — дата.

трудно бывает найти соответственные точки при медленно изменяющемся уровне воды.

Ввиду трудности или невозможности находить соответственные точки на гидрографах обычными способами во многих случаях приходилось за соответственные принимать точки, отстоящие друг от друга на время пробега, соответствующее скорости 75 км/сут. Это решение оправдывается еще и тем, что при составлении прогнозов все равно приходится пользоваться постоянным временем пробега.

Связи между высотами пиков и глубинами впадин (отрицательные величины) в Чардаре, с одной стороны, и этими же величинами на ниже расположенных постах, с другой, представлены на рис. 27, а зависимости угловых коэффициентов (умноженных на 100) линий связи от расстояний между Чардарой и другими постами даны на рис. 25 крестиками; ординаты точек равны высотам паводков, соответствующим паводкам в Чардаре высотой 100 см.

Обращает внимание очень малое число точек на рис. 27: столько удалось отыскать случаев, когда можно было более или менее надежно проследить движение характерных точек от Чардары до соответствующего поста.

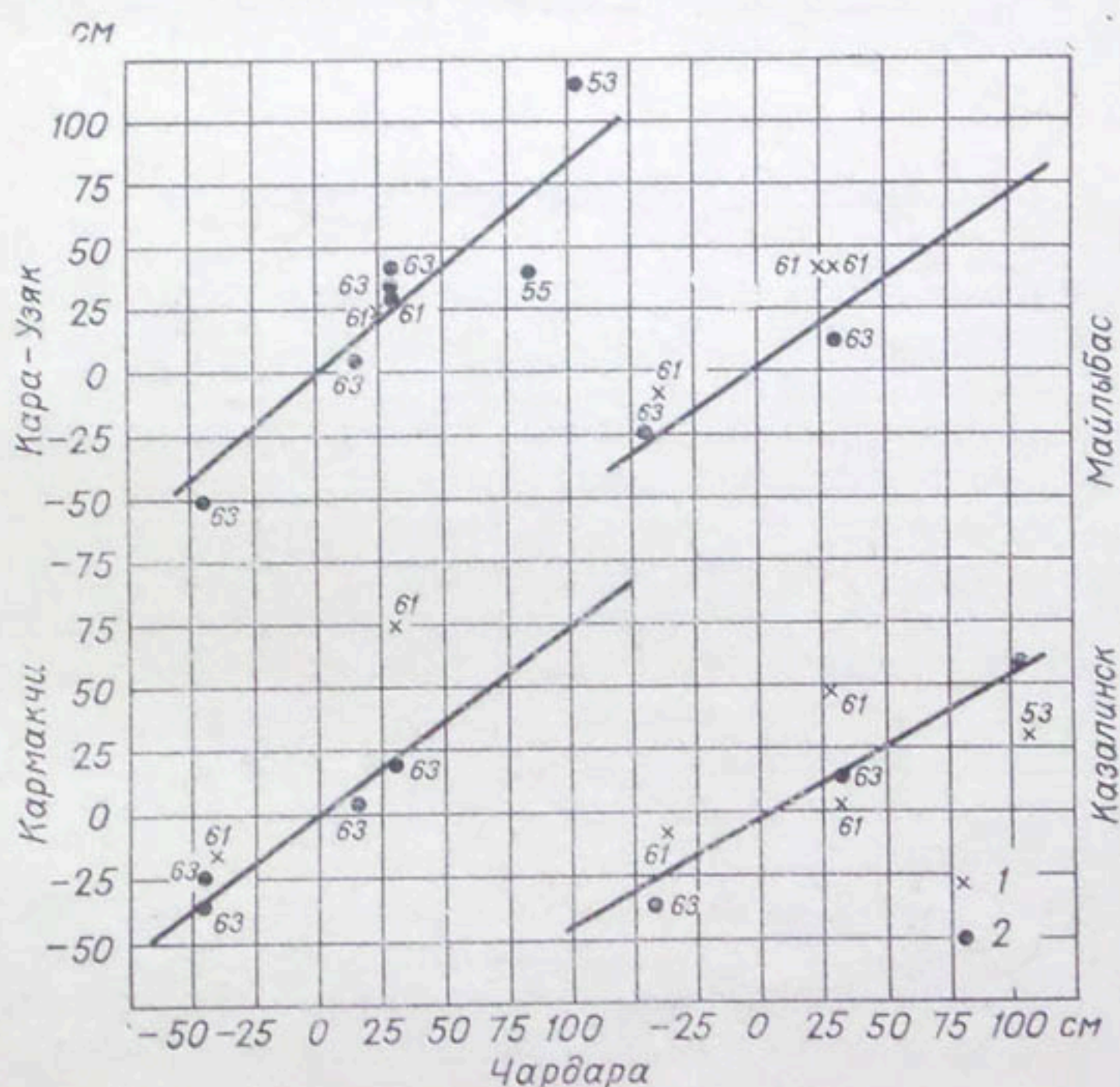


Рис. 27. Зависимость между высотами пиков и глубинами впадин уровня воды на посту Чардаре и на ниже расположенных постах Кара-Узяке, Кармакчах, Майлибасе и Казалинске.

1 — случай ледостава, 2 — точки относятся к реке, свободной от льда. Числа у точек — годы (по весне).

Тесноту связей, изображенных на рис 27, можно считать удовлетворительной, хотя и наблюдается несимметричное расположение точек относительно линии связи. Однако в этих связях не отражены случаи замерзания и особенно вскрытия реки, когда наблюдаются наивысшие уровни; поэтому их нельзя прямо использовать для предсказания максимального уровня. Но наличие их показывает, что при прочих равных условиях максимальный уровень воды в реке должен стоять в прямой зависимости от величины попуска из Чардаринского водохранилища.

Рисунок 27 и ему подобные, здесь не показанные, построены применительно к переменной скорости пробега и относятся к изменениям уровня, а не к самому уровню. Они были перестроены в расчете на постоянную скорость пробега $v=75$ км/сутки и для самого уровня, что позволило увеличить число точек и сделать связи прогностическими. Однако теснота связи от этого стала меньше. По таким связям зимой нельзя надежно предсказать уровень или расход воды даже в Тюмень-Арыке, не говоря уже о более удаленных постах, т. е. мы снова пришли к тому, с чего начали в этой главе, когда пытались установить связь среднего декадного уровня воды в Кок-Булаке с таким же уровнем в Тюмень-Арыке и на других постах, расположенных ниже.

6. Движение искусственных паводков

Для реки, свободной от льда, средняя скорость движения характерных точек гидрографа (пиков и впадин) была принята 90 км/сутки. Для упрощения расчета ее увеличивали иногда до 100 км/сутки. Эта величина выведена из анализа бытовых меженных расходов и уровней и рекомендована для использования при расчетах движения искусственных паводков. Однако искусственные паводки могут быть больше естественных меженных как по размерам, так и по скорости роста и, следовательно, по скорости движения. При подходящей ситуации можно было бы воспользоваться данными табл. 20, при составлении которой использованы сведения о паводках различных размеров и форм. Согласно этим данным, скорости движения характерных точек несколько больше 100 км/сутки, но не превышают 155 км/сутки.

Недостаток табл. 20 в том, что она составлена по данным за половодье и поливной сезон с особым режимом бокового притока, потерь и состоянием пойменных емкостей. Было бы желательно исследовать движение больших паводков в неполивной период межени.

В 1967 г. представилась возможность изучить движение именно такого настоящего искусственного паводка, созданного попуском из Чардаринского водохранилища в конце марта — начале апреля. Он начался с расхода около 400 м³/сек., который за очень короткий срок (трое суток) увеличился до 1400 м³/сек., а высший расход

Скорость движения характерных точек гидрографа в зависимости от уровня и расхода воды на посту Кок-Булаке. Участок Кок-Булак — Тюмень-Арык. 1955—1959 гг.

	Уровень, см						
	0—50	51—100	101—150	151—200	201—250	251—300	301—350
	Расход, м³/сек.						
	150—300	300—500	500—700	700—950	950—1300	1300—1700	1700—2300
Скорость, км/сутки							
на пике	—	—	95	95	111	133	133
на впадине	83	89	95	102	121	148	—
общая	83	89	95	98	115	139	133
сглаженная по графику связи	82	87	94	101	114	131	154

почти достиг 1600 м³/сек. Уменьшение расхода было еще более быстрым — на 1000 м³/сек. за одни сутки (рис. 28). Подобного характера природные паводки не наблюдались. Паводок двигался мало меняя с расстоянием форму и размеры.

Высший расход в Тюмень-Арыке и Кзыл-Орде оказался примерно таким же как и в Чардаре, т. е. около 1600 м³/сек. Заметно уменьшился паводок лишь в Кармакчах и Казалинске (высший расход был около 900 м³/сек.). Это произошло за счет забора воды в каналы для обводнения территории между Кара-Узьяком и Кармакчами, для чего попуск и был предназначен. Искусственный паводок на всем протяжении двигался очень быстро, со скоростью около 175 км/сутки, что в 2 раза превышает скорость движения бытовых паводков в межень. Он достиг Казалинска за 9 суток. Его движение было почти равномерным, на что указывает рис. 29, построенный по датам подъема и падения расходов. Несколько уменьшилась скорость движения паводка лишь на участке Карамакчи — Казалинск, где она составляла около 120 км/сутки.

Интересно, что темп роста расходов воды с расстоянием не только не уменьшался, но даже увеличивался. Так на посту Чардара на 1000 м³/сек. (с 450 до 1450 м³/сек.) расход увеличился за трое суток, в Тюмень-Арыке на это потребовалось только 1,5 суток, а в Кзыл-Орде еще меньше — одни сутки. Наибольшее суточное увеличение расхода составляло в Чардаре 400, Тюмень-Арыке 900

и Кзыл-Орде $1000 \text{ м}^3/\text{сек}$. Как видим, паводок не распластывался, а концентрировался. Распластывание паводка, и то небольшое, наблюдалось при спаде, когда наибольшее суточное уменьшение расхода составило в Чардаре 1150, Тюмень-Арыке 1050 и в Кзыл-Орде $700 \text{ м}^3/\text{сек}$.

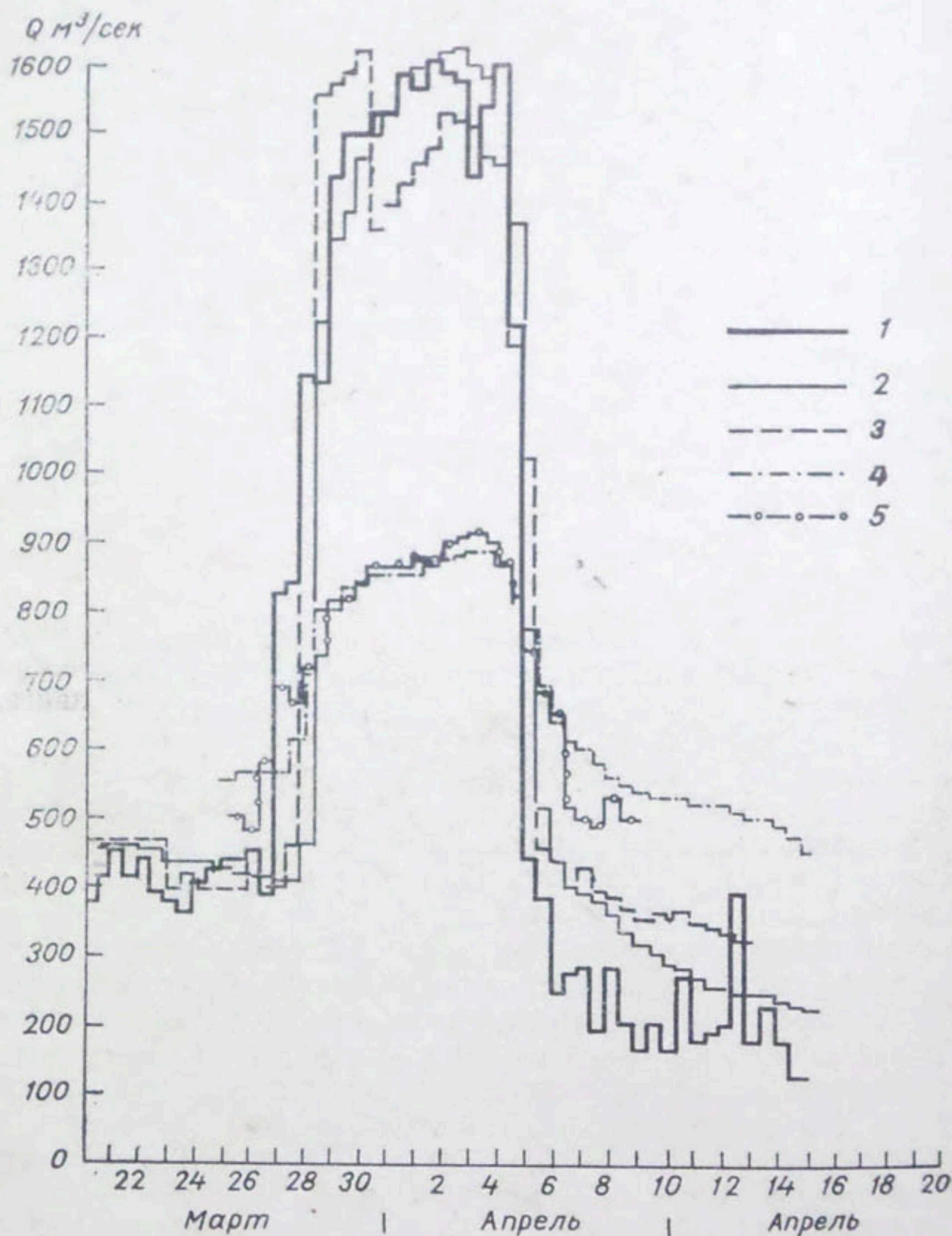


Рис. 28. Ежедневные расходы воды за 8 и 20 час. в марте — апреле 1967 г.

1 — шкала времени для поста Чардара. Шкалы времени других постов сдвинуты: для Тюмень-Арыка (2) на 3 суток, Кзыл-Орды (3) на 5 суток, Кармакчей (4) на 6,5 суток, Казалинска (5) на 9 суток.

Увеличение крутизны передней части паводка не является исключением и систематически наблюдается на Амударье. Это явление прогнозистами УГМС УзССР было замечено еще в 30-х годах. Оно является следствием широко известного закона, согласно которому скорость движения паводка, как и скорость течения реки,

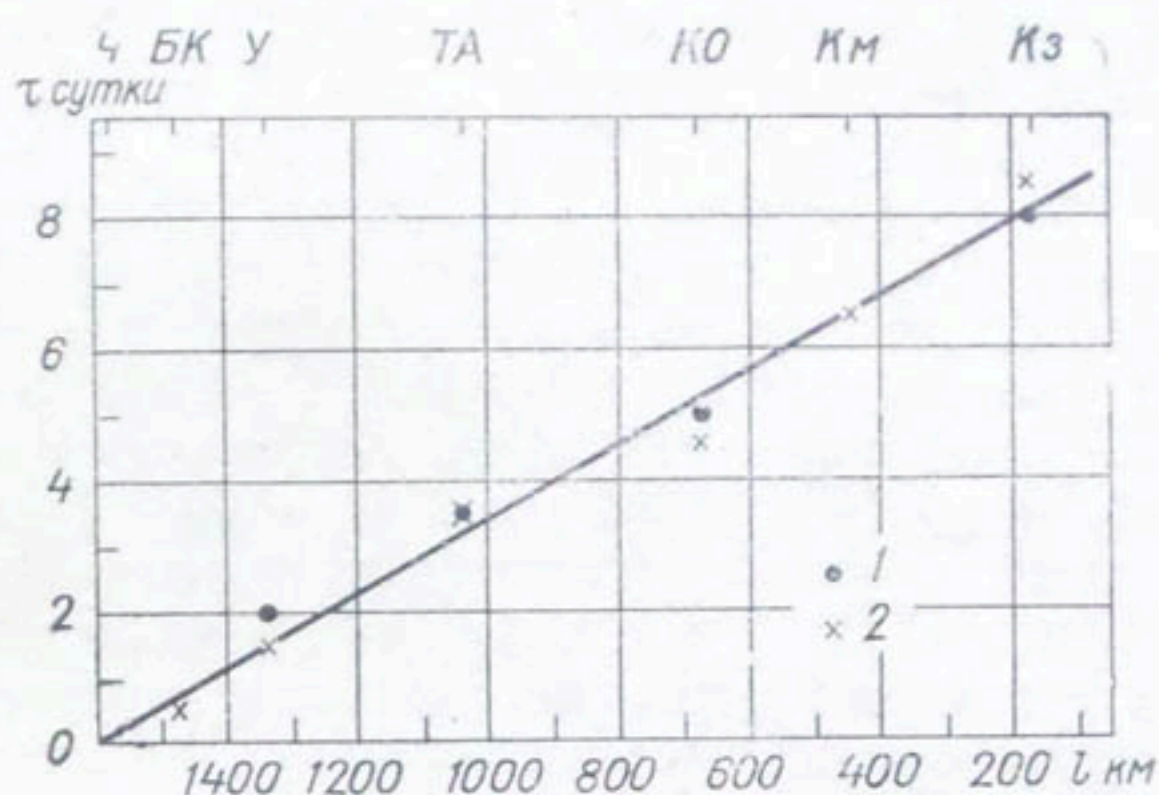


Рис. 29. Первый день (τ) большого повышения и понижения уровня воды в зависимости от расстояния от устья (l).

1 — подъем, 2 — падение. Ч — Чардара, БК — Байракум, У — Утрабат, ТА — Тюмень-Арык, КО — Кзыл-Орда, Км — Кармакчи, Кз — Казалинск. $v = 175$ км/сутки.

возрастает с увеличением расхода. Было замечено, что большой паводок, идущий вслед за малым, догоняя его, складывается с ним. Теоретически высота окончательного паводка должна была бы равняться сумме высот обоих паводков при увеличивающейся крутизне передней части паводка. Пока установлено увеличение лишь крутизны передней части паводка. Простого сложения высот обоих паводков, по-видимому, не происходит благодаря стремлению паводка к распластыванию, т. е. к выключению из стока некоторого количества движущейся воды на затопление русловых и пойменных емкостей с последующим возвращением ее в русло. Когда дело идет не о двух, а об одном паводке, то расходы воды за каждые отдельные сутки можно рассматривать как принадлежащие к самостоятельным паводкам, сливающимся по только что описанному закону.

Рассматриваемый паводок представляет явление этого рода в наиболее чистом виде: он резко очерчен, проходит по маловодному руслу, мало теряя воды на сторону и мало приобретая ее со стороны. Естественные паводки столь больших размеров наблюдаются в более сложных условиях, при большей приточности или при большом изъятии воды в каналы, идут по уже многоводному руслу, сильно взаимодействуя с пойменными емкостями. Так, когда в Кок-Булаке или Чардаре отмечается большой естественный паводок, то

происходит это за счет поступления большого количества вод из водосбора, т. е. из бассейнов рек Чирчик, Ангрен, Карадарья и другие. Но, если из этих водосборов поступало много воды, то несколько ранее много воды должны были дать территории, расположенные ниже Чардары, так как теплая или дождливая погода, обеспечивающая поступление талой и дождевой воды в реку, наблюдается примерно в одно и то же время на территории как выше, так и ниже поста Чардары.

Мы нашли, что величина описанного весеннего паводка 1967 г. не изменилась с расстоянием: наибольший расход его (около $1600 \text{ м}^3/\text{сек.}$) каким был в Чардаре, таким и сохранился до Кзыл-Орды. В весенне-летний период, согласно рис. 26, при расходе $1500 \text{ м}^3/\text{сек.}$ на участке Кок-Булак — Тюмень-Арык наблюдаются потери, составляющие около $200 \text{ м}^3/\text{сек.}$, хотя, судя по разбросу точек на графике, видимых потерь может и не быть. Таким образом, движение большого паводка без заметных видимых потерь стока на участке от Чардары до Тюмень-Арыка не является неправдоподобным. Под видимыми потерями понимаем истинные потери, сложенные с гидрометрическими ошибками.

Время пробега от Чардары до Тюмень-Арыка составляет около пяти суток. Для искусственного паводка 1967 г. оно оказалось равным трем суткам, т. е. гораздо меньше.

Зависимость скорости движения паводков v от расхода воды Q , согласно табл. 20, можно представить в виде уравнения

$$v = 0,034Q + 75 \text{ км/сутки.}$$

Хотя для построения табл. 20 расход воды брался на посту Кок-Булак, но его можно брать и по посту нижний бьеф Чардаринского водохранилища. Табл. 20 дает возможность рассчитывать время пробега на любые расстояния в пределах участка Чардара — Тюмень-Арык применительно к искусственным паводкам, если форму их назначать такую, какую имеют естественные паводки.

Как видно из табл. 20, принятая нами для всей реки при фазе «чисто» средняя скорость движения паводков, равная 90 км/сутки , является средней на участке Кок-Булак — Тюмень-Арык при расходах, не превышающих 950 км/сутки .

НАВОДНЕНИЯ И ДРУГИЕ ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

В этой главе исследуются сведения о фактически случившихся наводнениях и прочих вредных явлениях в противоположность косвенным признакам этих явлений, за один из которых был принят высший уровень воды, исследованный в главе I. Установив, что опасные явления, как и высший уровень, чаще встречаются на кромке льда во время вскрытия реки и что вероятность возникновения этих явлений тем больше, чем больше расход воды в реке, мы сделали попытку вероятностного расчета наивыгоднейшего времени пуска из водохранилища, который бы встретил кромку льда в заданном месте.

1. Материалы об опасных явлениях и их анализ

Основой для исследования послужили материалы, в свое время собранные в секторе гидрологических прогнозов УГМС УзССР, оформленные в Летописи ледовых явлений (см. главу III) и дополненные сведениями, полученными из архивов САНИИРИ, Института энергетики КазССР и других организаций. В Летопись вписывались сведения о местоположении кромки льда, заторах, зажорах, разливах, наводнениях, прорывах защитных дамб (бугутов), размывах ж.-д. полотна и т. п. Эти сведения брались из гидрологических ежегодников, информационных телеграмм, донесений о всяких чрезвычайных явлениях, материалов заседаний паводковых комиссий, отчетов Облводхозам и т. п.

На основании Летописей была составлена сводка опасных явлений за 12 лет. Среди опасных явлений мы стали различать заторы и зажоры (з), наводнения (н) и разливы (р).

Под заторами и зажорами понимались явления, которые под такими названиями фигурировали в гидрологических ежегодниках и прочих источниках информации без указания наводнений, размывов дамб и вообще разрушения или затопления каких-либо

объектов; предполагалось, что последних явлений не было, в противном случае ставился двойной знак «зн» (затор и наводнение).

Под наводнениями понимались затопления и разрушения или повреждения каких-либо объектов.

Разливами назывались случаи выхода реки из берегов, но без ущерба сооружениям и угодьям. Такие сведения нередко получают из отчетов об авиационных разведках льда. Среди зарегистрированных за 12 зим 211 опасных явлений 86 были наводнениями (табл. 21), в среднем по 7 наводнений в год.

Таблица 21

Распределение числа наводнений (н), заторов (з) и разливов (р) по зимам

Зима	з	н	р	зн	зр	Всего			Всего
						з	н	р	
1948-49	3	1	0	2	0	5	3	0	6
1949-50	6	0	1	2	0	8	2	1	9
1950-51	7	1	1	1	4	12	2	5	14
1951-52	3	1	1	8	0	11	9	1	13
1952-53	0	0	1	4	0	4	4	1	5
1953-54	6	13	5	20	4	30	33	9	48
1954-55	2	0	3	3	2	7	3	5	10
1955-56	1	0	5	0	5	6	0	10	11
1956-57	3	1	5	4	7	14	5	12	20
1957-58	6	1	5	6	2	14	7	7	20
1958-59	6	3	6	8	10	24	11	16	33
1959-60	3	3	8	4	4	11	7	12	22
Сумма	46	24	41	62	38	146	86	79	211
Среднее	3,8	2,0	3,4	5,2	3,2	12,1	7,2	6,6	17,6

Эти сведения нельзя считать безукоризненными по вполне понятным причинам: одни явления могут быть пропущены, о других записи могут быть сделаны по два раза, в одних случаях несколько явлений объединяется в одно, в других они учитываются отдельно и т. д. Количество зарегистрированных наводнений имеет тенденцию расти со временем. Наиболее богата наводнениями была зима 1953-54 г. Количество «чистых» заторов колеблется около четырех за зиму и не имеет тенденции расти с годами. Разливов в среднем на одну зиму приходится по семи, из них чистых разливов — по три.

Опасные явления чаще бывают при вскрытии (62%), реже при замерзании (32%) и совсем редко (6%) при ледоставе (табл. 22). Для наводнений эти числа остаются примерно такими же: соответственно 56, 35 и 9%.

Распределение опасных явлений по фазам (число случаев)
за 1948-49—1959-60 гг.

Фазы	з	н	р	зн	зр	Итого			Всего	%
						з	н	р		
Замерзание	23	9	4	21	10	54	30	14	67	32
Ледостав	0	4	5	4	0	4	8	5	13	6
Вскрытие	23	11	32	37	28	88	48	60	131	62
Всего	46	24	41	62	38	146	86	79	211	100

Примечание. з — затор, н — наводнение, р — разлив.

Заметим, что, как это было установлено ранее, распределение высшего уровня по ледовым фазам несколько иное, а именно: на вскрытие приходится 82%, на замерзание 6% и на ледостав 12% всех случаев.

Более подробные исследования сведений о наводнениях и жизни реки показывают, что наводнения бывают почти исключительно на кромке ледостава, иногда на «невидимой» (в разводьях, расположенных где-то между постами), а потому ненаблюдаемой. Наводнения при ледоставе, т. е. вдали от кромки льда, бывают не только из-за прорыва защитных дамб, находящихся в плохом состоянии, как считают некоторые, но и по ряду других причин, например, как отголоски явлений, происходивших на кромке льда, а также в многоводные зимы, когда защитные дамбы находятся в состоянии, близком к аварийному.

Рассматривая распределение опасных явлений по длине реки (табл. 23), замечаем, что они случаются (за единственным исключением) на всем протяжении реки (точнее, на каждом из тех стокилометровых участков, на которые в табл. 23 разбита река). Это значит, что в любую предстоящую зиму имеется опасность наводнения на любом наперед заданном участке реки. С другой стороны, не было ни одной зимы, в которую наводнения наблюдались бы на всех ее участках; всегда находился такой участок, на котором в эту зиму не было наводнений, хотя бы видимая гидрометеорологическая ситуация и весьма благоприятствовала этому. Под видимой мы понимаем ситуацию, точнее представление о ситуации, создаваемое по наблюдениям на гидрометеорологических станциях и постах (в частности, по сведениям о расходах воды на посту Кок-Булак). Таким образом, тот факт, что наводнение в данную зиму было на одном участке и не было на другом, связан не с расходом воды в Кок-Булаке в соответствующее время, а с чем-то другим. При больших расходах воды в Кок-Булаке вероятность наводнения в наступающую зиму на заданном участке реки больше, чем при малых. Это

Распределение опасных явлений по длине реки (число случаев)

Ледовые фазы виды опасных явлений	Расстояние от устья, км																	Всего
	0—100	101—200	201—300	301—400	401—500	501—600	601—700	701—800	801—900	901—1000	1001—1100	1101—1200	1201—1300	1301—1400	1401—1500	1501—1600	1601—1700	
Замерзание, ледостав, вскрытие																		
а) все опасные явления	3	45	3	3	16	23	37	11	13	31	9	3	6	—	5	1	2	211
б) наводнения и разливы	3	32	3	2	12	20	28	9	11	24	9	2	4	—	4	1	1	165
в) наводнения	2	19	2	—	6	8	16	1	4	17	5	1	2	—	2	—	1	86
Замерзание																		
а) все опасные явления	1	20	—	—	4	3	15	—	1	15	2	—	3	—	2	—	1	67
б) наводнения и разливы	1	11	—	—	1	1	11	—	1	13	2	—	2	—	1	—	—	44
в) наводнения	1	7	—	—	—	1	10	—	—	9	1	—	—	—	1	—	—	30
Ледостав																		
а) все опасные явления	1	6	—	—	—	3	2	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13
б) наводнения и разливы	1	6	—	—	—	3	2	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13
в) наводнения	—	5	—	—	—	2	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8
Вскрытие																		
а) все опасные явления	1	19	3	3	12	17	20	10	12	16	7	3	3	—	3	1	1	131
б) наводнения и разливы	1	15	3	2	11	16	15	8	10	11	7	2	2	—	3	1	1	108
в) наводнения	1	7	2	—	6	5	5	1	4	8	4	1	2	—	1	—	1	48

последнее обстоятельство отражено на рис. 30, где показана зависимость числа опасных явлений от расхода воды за зиму в Кок-Булаке. Кроме последних, есть какие-то другие и притом мощные факторы, способствующие наводнениям, которые мы и разыскиваем.

Распределение опасных явлений по длине реки (табл. 23) все же неравномерное. Чаще они бывают на участке Кзыл-Орда — Терень-Узьяк, в районе Казалинска и на участке Яны-Курган — Чиили. Мало наводнений было отмечено от 200-го до 400-го км, относительно мало на восьмой сотне километров и выше 1050-го км реки, считая от устья.

Из всех явлений наиболее равномерно распределены по длине реки разливы. При ледоставе, как и полагается, вовсе не бывает чистых заторов и зажоров. При вскрытии довольно ясно локализованы в пространстве наводнения, но наибольшая локализация опасных явлений отмечается при замерзании реки.

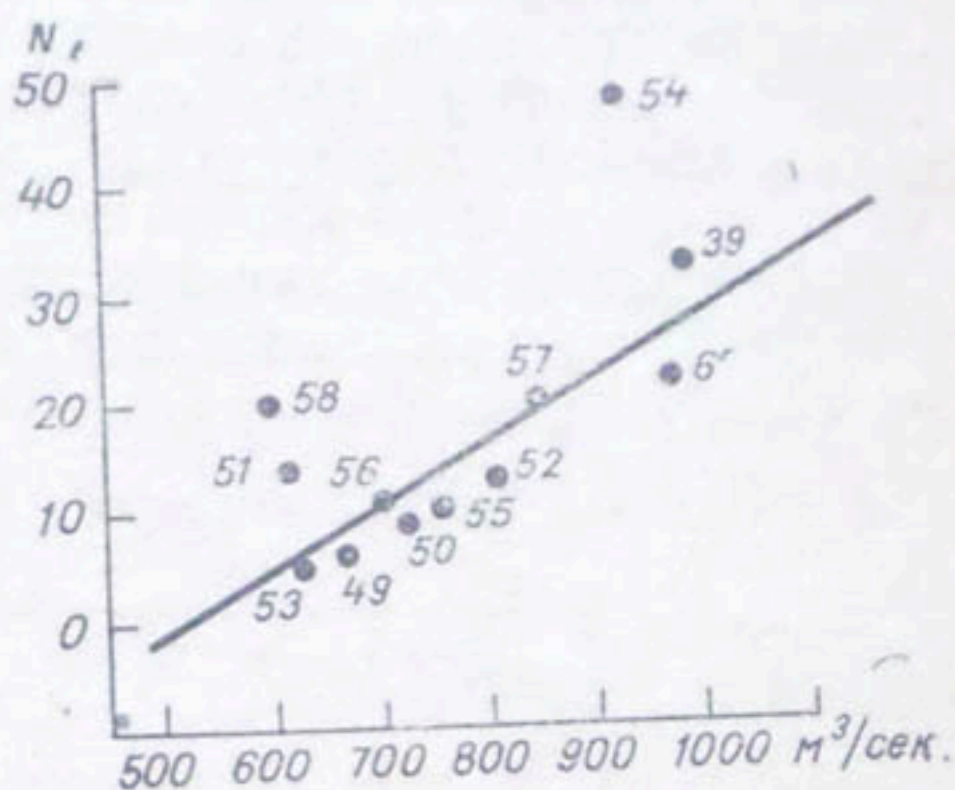


Рис. 30. Зависимость полного числа опасных явлений за зиму (N) от расходов воды в Кок-Булаке.

Числа у точек — годы.

2. Связь опасных явлений с уровнем воды на ближайшем посту

Между фактом наводнения и высотой уровня воды на посту, вообще говоря, не может быть однозначной зависимости; во время наводнения уровень может оказаться высоким и низким, на спаде и на подъеме в зависимости от того, где образовался затор по отношению к посту: выше, ниже, близко, далеко. Если затор произошел на самом посту или несколько ниже его, то уровень на посту будет обязательно выше, чем в беззаторные дни той же зимы. В общем, в месте затора (зажора) уровень воды во время затора должен быть выше, чем на соседних участках реки. На движущейся кромке льда река всегда или почти всегда находится в заторном состоянии, т. е. при повышенном уровне воды; но только на одних участках реки уровень воды на кромке будет относительно более высоким, на других относительно менее высоким. Наводнение или просто выход реки из берегов в данном месте должен происходить именно при высоком уровне воды, более высоком, чем в те дни и те зимы, когда при прохождении кромки льда у этого пункта выхода реки из берегов не было. Затопления и наводнения образуются благодаря стечению благоприятствующих обстоятельств, обычно не поддающихся учету, но нельзя отрицать также существования некоторых факторов,

которые могут быть учтены и которые действуют всегда в одном направлении. Это прежде всего большой расход воды, при котором происходит вскрытие и замерзание. Чем больше расход воды, тем больше шансов, что на заранее выбранном и достаточно длинном участке при движении кромки произойдет разлив реки: ведь река летом разливается и без всяких заторов, когда расход воды в ней оказывается достаточно большим. Но при большом расходе большим оказывается и уровень, который и определяет возможность разлива при выходе реки из берегов или при прорыве дамбы.

Мы здесь имели в виду расход и уровень воды на посту в момент образования наводнения или раньше.

Таблица 24

Распределение опасных явлений по фазам
и по постам (число случаев)

Фаза уровня	Пост					
	Казалинск	Майлыбас	Кармакчи	Кара-Узак	Кзыл-Орда	Тюмень-Арык
З а м е р з а н и е						
Впадина	11	0	3	0	2	0
Подъем	6	0	0	1	0	1
Пик	3	1	3	6	2	4
Всего	20	1	6	7	4	5
В с к р ы т и е						
До подъема и на подъеме	1	0	3	1	5	2
Пик	14	4	8	13	11	9
Спад	4	0	2	3	0	4
После спада	3	0	3	3	0	6
Всего	22	4	16	20	16	21

На то, насколько часто опасные явления наблюдаются при различных фазах уровня воды на посту, показывает табл. 24, составленная для периодов замерзания и вскрытия. Здесь опасное явление относилось к тому из постов, к которому оказалось ближе место, где оно произошло.

Из этой таблицы прежде всего находим, что наибольшее число опасных явлений приходится на пик уровня как при замерзании так и особенно при вскрытии. Исключение составляет пост Каза-

линск, на котором наводнения при замерзании чаще бывают при снижении уровня (на впадине гидрографа), так как зажоры обычно образуются выше этого поста. Наблюдениями с воздуха [8] неоднократно подмечался особый «шероховатый» (зажорный) характер ледяного покрова на извилистом участке от Казалинска до Майлыбаса (200 км). Особенности колебания уровня воды на посту Майлыбасе подтверждает зажорный характер указанного участка. Однако зажоры формируются не только ниже этого поста, но и выше его.

При вскрытии наибольшее число опасных явлений в Казалинске, как и на других постах, приходится чаще всего на пик уровня: затор движется вниз по реке в сопровождении водяного вала, зажор стоит на месте.

3. Связь числа опасных явлений с расходом воды

На эту связь мы уже обращали внимание (рис. 30). Хотя она и слаба, но определенно указывают на увеличение числа опасных явлений с ростом расхода воды в Кок-Булаке. Расходы воды брались как средние из трех расходов воды в Кок-Булаке, из которых первый был высшим за период замерзания реки на протяжении от Казалинска до Тюмень-Арыка, второй был высшим за время ледостава и последний — высшим за время вскрытия реки на том же участке. Абсцисса каждого графика характеризует степень многоводности реки в каждую отдельную зиму, а ордината — повторяемость опасных явлений в ту же зиму. Но многоводность зимы можно характеризовать и другими производными от расходов воды, например средними месячными расходами.

Связь числа наводнений с расходом за февраль, а также со средним расходом за декабрь — февраль оказалась даже теснее связи на рис. 30; слабее связь с расходом декабря и вовсе отсутствует с расходом ноября.

Здесь в качестве показателя многоводности реки брались расходы воды в Кок-Булаке. Заменяв последние на расходы в Тюмень-Арыке, а затем в Кзыл-Орде получили связи примерно такой же тесноты. Связи числа наводнений с расходами в Казалинске оказались еще слабее.

Связи числа наводнений со средними месячными уровнями в Кок-Булаке, Тюмень-Арыке, Кзыл-Орде и Казалинске не обнаруживаются; связи с высшим зимним уровнем на постах также отсутствуют или почти отсутствуют.

После проведенного анализа имеющихся наблюдений становится явной зависимость наводнений от многоводности реки: чем многоводнее была река в данную зиму, тем больше на ней наблюдалось наводнений. Последнее надо понимать в основном как число мест, в которых в данную зиму были выходы воды из русла, сопровождавшиеся какими-либо вредными явлениями. Мы говорим «в основ-

ном», предполагая случаи повторных прорывов дамб обвалования и имея в виду, что большинство наводнений связано именно с прорывом дамб. Прорывы дамб на наперед заданном участке реки в некоторой (может быть и большой) мере носят случайный характер.

Для определения вероятности наступления опасных явлений были построены кривые обеспеченности расходов воды в Кок-Булаке, при которых наблюдались эти явления на тех или иных участках. Предполагалось, что наводнения на разных участках происходят при разных расходах воды в Кок-Булаке. Однако беспорядочное расположение кривых обеспеченности на плоскости чертежа не дает основания для таких заключений. Такие же беспорядочные очертания имеют кривые, построенные для заторов, разливов и всех вместе взятых опасных явлений.

Сказанное приводит нас к заключению, что расход воды в Кок-Булаке, соответствующий наводнению, не зависит от места наводнения. Например, нельзя сказать, что наводнения в районе Казалинска происходят при больших (или меньших) соответственных (с учетом времени пробега) расходах воды в Кок-Булаке, чем наводнения в районе Тюмень-Арыка, несмотря на то что первый пункт от Кок-Булака находится в два раза дальше второго.

О других опасных явлениях можно сказать лишь то, что чистые заторы, т. е. заторы, не сопровождающиеся наводнениями, наблюдаются при расходах, несколько меньших, чем наводнения. Но это касается только трех нижних участков, к другим это не относится.

Если расход воды в Кок-Булаке, соответствующий наводнению, не зависит от места на реке, где оно произошло, то имеет смысл построить одну общую кривую обеспеченности для всей реки, по которой можно было бы судить о повторяемости расходов воды в Кок-Булаке, соответствующих наводнениям. На рис. 31 представлена такая кривая 1 совместно с многолетней кривой 2. Они построены по средним декадным расходам за период с зимы 1948-49 г. по зиму 1959-60 г. Из них можно сделать следующие выводы.

1. Наводнения на Сырдарье за эти годы бывали при средних декадных расходах воды в Кок-Булаке, охватывающих почти весь диапазон их изменения: от самых больших до самых малых (вплоть до расходов 94% обеспеченности, равных $475 \text{ м}^3/\text{сек.}$). Иначе говоря, наводнения на Сырдарье могут быть практически при любых бытовых расходах воды в Кок-Булаке (Чардаре).

2. Однако наводнения происходят все же при повышенных расходах воды, на что указывает расхождение в кривых 1 и 2 на рис. 31. Например, при расходах 50%-ной обеспеченности ($600 \text{ м}^3/\text{сек.}$) и меньше наблюдалось 32% всех наводнений (а не 50%), при расходах 20%-ной обеспеченности ($740 \text{ м}^3/\text{сек.}$) и меньше — 60% всех наводнений (а не 80%). Особенно большая разница в значениях обеспеченности соответствует расходам 60%-ной обеспеченности ($580 \text{ м}^3/\text{сек.}$) и меньше, при которых наблюдалось только 17% наводнений (вместо 40%).

3. При средних декадных расходах, меньших $510 \text{ м}^3/\text{сек.}$, кривые 1 и 2 рис. 31 совпадают и расходятся практически лишь при двух небывало малых расходах. Такое совпадение означает, что наводнения вовсе не зависят от расхода воды (когда он мал), т. е. их можно ожидать при любых средних декадных расходах воды в Кок-Булаке, но не известно лишь, могут ли они быть при расходах, меньших $473 \text{ м}^3/\text{сек.}$, так как при них наводнений не было.

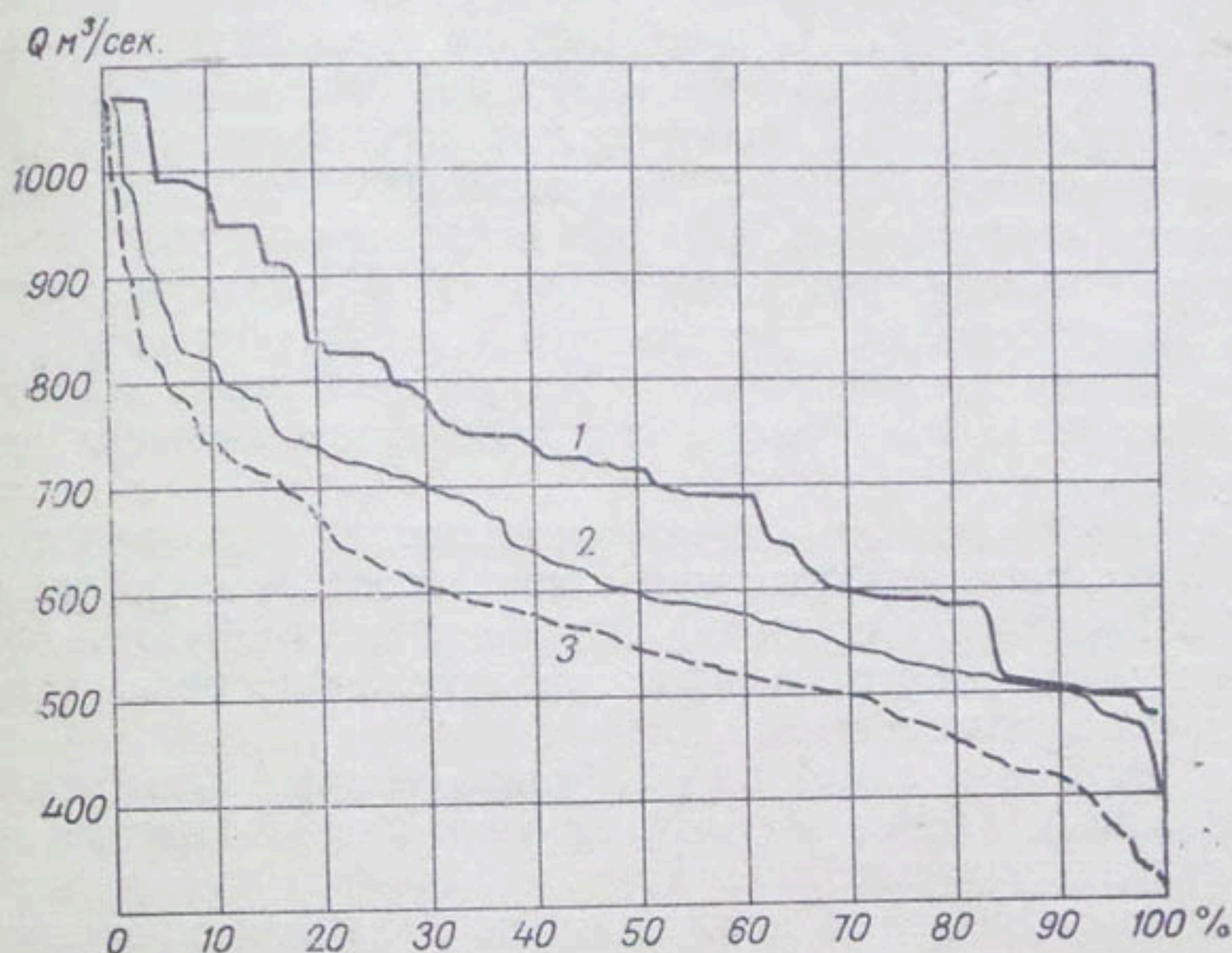


Рис. 31. Кривые обеспеченности средних декадных расходов воды в Кок-Булаке, соответствующих наводнениям на р. Сырдарье, взятых с зимы 1948-49 г. по зиму 1959-60 г. (1), за все календарные декады с третьей декады ноября по третью декаду марта за те же зимы (2), то же с зимы 1937-38 г. по зиму 1959-60 г. (3).

4. Вообще говоря, нет никакой гарантии, что не будет наводнений при расходах, меньших $475 \text{ м}^3/\text{сек.}$ и даже $410 \text{ м}^3/\text{сек.}$, т. е. меньше самого малого когда-либо наблюдавшегося на посту Кок-Булак расхода, особенно когда дело будет касаться искусственно регулируемого стока. Можно было бы, например, половину реки отвести куда-нибудь в сторону и тогда после перестройки русла в новых условиях наводнения стали бы случаться так же часто, как и раньше, но при расходе, меньшем в 2 раза. В наших условиях этого опасаться, по-видимому, не следует, так как при искусственном регулировании Сырдарьи с помощью Чардаринского водохранилища не предусматривается сильного изменения летнего режима реки, от которого в основном и зависят русловые процессы.

Как указывалось, кривые, изображенные на рис. 31, построены, хотя и за общий, но сравнительно короткий период — всего за

12 зим. Представляет интерес иметь кривую обеспеченности расходов, взятых за все календарные декады (кривая 2 на рис. 31) и за большее число зим. Такая кривая представлена на рис. 31 (кривая 3) за время с зимы 1937-38 г. по зиму 1959-60 г. (всего за 23 зимы). На рисунке она расположилась намного ниже кривой 2, так как в первые одиннадцать зим этого периода Сырдарья была гораздо маловоднее, чем в последующие 12 зим. Если ориентироваться на кривую 3, то самый малый средний декадный расход воды в Кок-Булаке ($475 \text{ м}^3/\text{сек.}$), при котором еще наблюдалось наводнение, будет иметь обеспеченность 68% (была 94%).

Аналогичные кривые обеспеченности были рассчитаны для местных ежедневных расходов, сопровождавшихся наводнениями. Под местными понимались расходы воды, отмеченные на постах, ближайших к местам наводнений (а не в Кок-Булаке, как раньше). Кривые были построены для каждого участка в отдельности; на них, как прежде, кривые чистых заторов лежат ниже всех остальных, т. е. такие заторы происходят при расходах, меньших, чем при трех других явлениях.

Местные расходы равной обеспеченности, сопровождавшиеся опасными явлениями, варьируют сильнее соответствующих расходов в Кок-Булаке как от одной ледовой фазы к другой, так и от участка к участку, хотя по абсолютной величине первые меньше вторых. Это объясняется тем, что

а) расходы воды зимой в Кок-Булаке вообще меняются меньше, чем местные, т. е. на постах, расположенных в нижнем течении реки, в районах опасных явлений;

б) осенние наводнения происходят нередко при небольших расходах воды на посту, так как заторы часто образуются выше его, из-за чего расход на посту существенно уменьшается; этим часто объясняется то, что местные расходы высокой обеспеченности оказываются небольшими; в этом же направлении влияет и движение кромки вверх по реке, вызывающее уменьшение расходов воды;

в) весенние наводнения почти всегда происходят при увеличенных (по сравнению с расходами в Кок-Булаке) расходах за счет слива воды, накопившейся за зиму в разливах;

г) местные расходы могут быть завышены или занижены из-за неточного определения их. Расходы при вскрытии реки могут быть сильно завышены (причем в разной мере на разных постах), так как в это время уровень обычно бывает самым высоким, а расходы воды не измеряются.

В этом отношении представляет интерес сравнение расходов в Кок-Булаке и местных при наводнениях одной и той же обеспеченности. Если между ними окажется тесная связь, то это будет означать, что положение (на плоскости чертежа) кривой обеспеченности для данного участка реки по отношению к кривым других участков обусловлено не только ошибками измерения расходов, а некоторыми объективными особенностями участка в отношении

наводнений. Оказалось, что для расходов, обеспеченных на 40%, такая связь действительно существует (если не учитывать самого верхнего участка, где было мало наблюдений над заторами и наводнениями), как это следует из нижеприведенной таблицы, относящейся к расходам ($\text{м}^3/\text{сек.}$) 40%-ной обеспеченности.

Расход при наводнении	Расстояние от устья, км				
	0—300	300—550	550—700	700—1100	>1100
В Кок-Булаке (х)	680	830	770	745	615
На месте (у)	550	1020	820	710	680

Указанная зависимость может быть выражена уравнением

$$y = 3,15x - 1600.$$

Из таблицы следует, что по отношению к расходам воды наиболее опасным участком является самый нижний (наводнения происходят при малых расходах), а самым безопасным — второй снизу (300—550 км), где наводнения наблюдаются при самых больших расходах воды как в Кок-Булаке, так и на месте. Из сказанного еще нельзя заключить, что эти участки вообще опасны или безопасны, так как степень опасности участка определяется частотой и мощностью наводнений.

4. О надежности критического расхода $475 \text{ м}^3/\text{сек.}$

С зимы 1948-49 г. по зиму 1959-60 г., т. е. за 12 зим, не было не только ни одного наводнения (аварии), но и какого-либо другого опасного явления, случившегося при среднем декадном расходе в Кок-Булаке, меньшем $475 \text{ м}^3/\text{сек.}$, но довольно много было этих явлений, в том числе наводнений, при расходе около $500 \text{ м}^3/\text{сек.}$ Поэтому расход $475 \text{ м}^3/\text{сек.}$ в Кок-Булаке можно было бы считать критическим расходом, если бы не оказалось, что в эти зимы этот расход почти не наблюдался: он встретился только в 4 из 144 декад (считая зиму с третьей декады ноября по вторую декаду марта). Пришлось обратиться к изучению более ранних и более поздних зим, среди которых было много маловодных (табл. 25). Действительно оказалось по крайней мере 11 зим, за которые в 6 декадах (т. е. в половине всех зимних декад) или более расходы были меньше $475 \text{ м}^3/\text{сек.}$

Маловодна была река в последнее пятилетие (с зимы 1961-62 г.). В эти же зимы не было ни одного наводнения, хотя другие опасные явления наблюдались почти ежегодно. Это обстоятельство как будто бы подтверждает критический характер расхода $475 \text{ м}^3/\text{сек.}$

Сведения о многоводности зим (по средним декадным расходам воды
в Кок-Булаке с 3-й декады ноября по 2-ю декаду марта)
и числе опасных явлений

Зимы	Было			Крайнее значение расхода за зиму, м ³ /сек.	Число де- кад с рас- ходом менее 475 м ³ /сек.	Убытки в баллах
	опасных явлений	в том числе навод- нений	при расходе			
1930-31	(1)	1	517	Нет сведе- ний	Нет сведе- ний	
1931-32	(1)	1	516	448—556	8	
1932-33	(5)	5	520	397—520	(11)	5
1933-34				Нет сведе- ний	(3)	
1934-35				То же	(0)	
1935-36				"	(0)	
1936-37				"	—	
1937-38				357—528	11	
1938-39				320—439	12	
1939-40				318—420	12	
1940-41	(1)	1	580	413—584	8	
1941-42				413—640	9	
1942-43				490—575	0	
1943-44				459—597	2	
1944-45				422—571	2	
1945-46				500—588	0	
1946-47	(1)	1	659	591—666	0	
1947-48				401—547	7	
1948-49	6	3	500, 600, 640	407—567	(3)	
1949-50	9	3	595, 588, 595	526—642	(0)	
1950-51	14	2	602	453—602	(4)	
1951-52	13	10	612, 583, 583, 583, 583, 592, 592, 598, 641, 624	511—744	0	4
1952-53	8	7	511—576	511—817	0	
1953-54	39	27	691—1070	690—1070	0	5
1954-55	10	3	694, 670, 648	542—796	0	

Зимы	Было			Крайнее значение расхода за зиму, м ³ /сек.	Число декад с расходом менее 475 м ³ /сек.	Убытки в баллах
	опасных явлений	в том числе наводнений	при расходе			
1955-56	11	4	715	531—715	0	
1956-57	21	8	495—519	495—579	0	
1957-58	20	10	475—591	465—591	2	
1958-59	30	20	607—991	607—991	0	4
1959-60	16	10	758—912	706—912	0	5
1960-61	13	3	568—738	568—791	0	
1961-62	3	0	311—380	290—403	12	
1962-63	1	0	479	255—505	7	
1963-64	3	0	> 500	540—682	0	
1964-65	0	0	—	388—684	8	
1965-66	1	0	370	319—424	4	
Всего	227	119				

Примечание. С зимы 1960-61 г. данные в графе 4 относятся ко всем опасным явлениям, а до этого — только к наводнениям.

Подтверждался он и в предыдущие годы, когда и в немногочисленные зимы были наводнения, но происходили они при расходах, превышающих 475 м³/сек. Например, зимой 1932-33 г. почти все декады были с расходом меньше 475 м³/сек., но наводнения происходили при больших расходах (520 м³/сек.) и были они, судя по тогдашним сообщениям, наиболее катастрофическими. По-видимому, 30-е и 60-е годы не вполне сравнимы, так как:

а) в прежние годы было меньше объектов, подверженных наводнениям ввиду более слабого освоения прибрежных земель, поэтому и число наводнений (аварий) было меньше;

б) более сильные экономика и землеройная техника последних лет позволяли вести борьбу с наводнениями более успешно, чем это делалось в 30-е или 40-е годы.

Например, в одном из отчетов о «Пропуске льда» весной 1933 г. автор отчета жаловался на недостаток гужевого транспорта, из-за чего «приходилось по 2—3 км снаряды (для подрыва льда) таскать на себе». В настоящее время обилие мощных транспортных средств и землеройной техники позволяет быстро подвозить необходимые строительные материалы к местам возможных аварий, проводить усиление дамб и заделывать прорывы в них. Именно по этой причине многие опасные ситуации зимы 1959-60 г. так и остались

только «угрозой наводнения» и не перешли в действительные наводнения, как бы это случилось в 30-е годы.

Итак, имеющиеся сведения говорят о том, что наводнения ни разу не бывали при расходах воды (средних декадных в Кок-Булаке), меньших $475 \text{ м}^3/\text{сек}$. Такие расходы за все 34 зимы наблюдались в 125 декадах из 408 (по 12 за зиму) — число (31%), как можно видеть, немалое. Если же в 30-х и 40-х годах учесть только зимы с наводнениями, выбросив 11 зим (по 1945-46 г.) с их 74 декадами, то в оставшихся 23 зимах будем иметь 276 декад (из которых 74 декады с расходами, меньшими $475 \text{ м}^3/\text{сек}$.), то вместо 31% получим 27% декад с неопасными расходами, т. е. прежнее соотношение почти не изменится.

После всего сказанного расход воды в $475 \text{ м}^3/\text{сек}$. нам представляется достаточно обоснованным для того, чтобы его принять в качестве еще безопасного среднего декадного расхода воды в Кок-Булаке или Чардаре. К нему могут быть введены гарантийные или какие-либо другие поправки, учитывающие изменение со временем защитных дамб (бугутов) и средств борьбы с наводнениями, а также поправки на приблизительный характер самих расходов воды, определяемых на посту Чардара в нижнем бьефе Чардаринской ГЭС.

5. О мере мощности опасных явлений

Выше мы рассмотрели в качестве меры мощности отдельных опасных явлений уровень и расход воды, а для оценки всей зимы в целом пользовались еще количеством опасных явлений за зиму. Кроме того, была сделана попытка оценить всю зиму еще баллом аварийности, полученным в результате изучения описаний наводнений, которые можно было найти в отчетах органов водного хозяйства (табл. 25).

Сведения о наводнениях в 30-е и 40-е годы очень скудны. В эти годы (по 1947-48 г.) наводнения были отмечены только в 5 зимах из 18; были ли наводнения в оставшиеся 13 зим — неизвестно.

Из имеющихся записей как наиболее опасные или разрушительные определены наводнения 1932-33, 1953-54 и 1959-60 гг. (балл 5 в графе 7 табл. 25), за ними следуют зимы 1951-52 и 1958-59 гг. Однако оказалось, что балл аварийности не вполне соответствует количеству наводнений. Так, в 1932-33 г. аварийность была оценена высшим баллом 5, а число наводнений было всего пять, тогда как 20 наводнений 1958-59 г. были оценены баллом 4. Аналогичное несоответствие наблюдается и при сравнении зим 1958-59 и 1959-60 гг. Казалось бы, что может лучше характеризовать мощность наводнения, как не убытки от него? Ведь именно к тому мы и стремимся, чтобы сделать безубыточной эксплуатацию Чардаринского водохранилища. Однако пример Бурибайского прорыва 5 февраля 1949 г. показал, что хозяйственная и гидрометеорологическая оцен-

ка могут сильно разниться: для ликвидации указанного прорыва потребовалось много средств, но произошел он (в основном по вине человека) при мягких гидрометеорологических условиях, т. е. имелись налицо высокая экономическая и низкая гидрометеорологическая оценки.

Но в других случаях убытки могут служить лучшим показателем степени аварийности сезона; в частности, отсутствие убытков или их малая величина служит явным указанием на неблагоприятные для наводнений и благоприятные для народного хозяйства условия.

Большие убытки, связанные с массовым выходом реки из берегов, по-видимому, говорят о действительно мощных наводнениях, особенно когда проводилась эффективная борьба с ними.

В общем же величина убытков для характеристики мощности опасных явлений оказалась не лучше характеристики этой мощности с помощью баллов и числа наводнений и не теснее их связана со степенью многоводности зимы (графа 5 табл. 25). Хотя в наиболее аварийные зимы (1951-52 и 1953-54 гг.) расходы воды в Кок-Булаке и были повышенными, но четкой зависимости убытков от степени многоводности зимы не имеется. Так, в относительно многоводную зиму 1954-55 г. существенных убытков от наводнений не было, тогда как в сравнительно маловодную зиму 1957-58 г. они оценены в относительно большую сумму. Но, насколько нам известно, зимние разливы местному населению приносят не только зло, но и благо, увеличивая возможность возделывания сенокосов и выпасов и создавая возможность возделывания огородных и полевых культур.

6. Разбор конкретных наводнений (аварий)

Выше мы обращали внимание на то, что наводнения (аварии) на одних и тех же опасных местах в одни зимы случаются при сравнительно небольших расходах воды в Кок-Булаке, в другие же зимы их не бывает и при очень больших расходах, доходящих почти до $1000 \text{ м}^3/\text{сек.}$, т. е. наводнения зависят не только от количества воды, поступающей сверху по реке, но и от ряда других причин, о которых мы можем только предполагать. Совершенно неверно думать, что для каждой точки на р. Сырдарье существует такой расход воды в Кок-Булаке, при наступлении которого обязательно произойдет наводнение в этом месте. Этого может не случиться просто потому, что где-то выше река прорвет защитные дамбы и разольется по берегам, а к данному месту будет подходить небольшой расход и поэтому опасного повышения уровня воды здесь не произойдет.

Связь наводнений с гидрологическими и метеорологическими причинами весьма сложна, в противном случае ее давно бы уже открыли. Наводнения случаются при потеплении и при похолода-

нии, при быстром движении кромки льда и при медленном, когда лед был толстым и прочным и когда он был тонким и непрочным. Все эти факторы сплетаются в такой сложный клубок, что для распутывания его нам пришлось заняться анализом каждого конкретного наводнения (аварии). Ниже излагаются результаты этого анализа.

7. Опасные явления при ледоставе

В первую очередь были подробно исследованы опасные явления при ледоставе, т. е. случающиеся вдали от кромки льда. Они происходят при более простых гидрологических условиях, и потому их как будто бы и проще исследовать. Кроме того, в период устойчивого ледостава гидрологические условия менее благоприятны для возникновения наводнений. Если при данных гидрометеорологических условиях опасные явления случаются при ледоставе, то на кромке ледостава, т. е. при замерзании и особенно при вскрытии, их нужно ожидать с большим основанием. Например, если бы наводнение 1949 г. по каким-либо случайным причинам не произошло в феврале при ледоставе, то при вскрытии оно должно было бы случиться и притом с более опасными последствиями (конечно, если бы прорыв дамб не был своевременно замечен).

Наводнения, случающиеся на кромке льда вполне естественны: плывущий лед (шуга при замерзании и льдины при вскрытии) подныривает под ледяной покров, стесняет течение реки и вызывает повышение уровня; вода прорывает дамбы обвалования (если они были) и разливается по берегам или уходит по естественным и искусственным руслам туда, где ее присутствие в большом количестве нежелательно. При ледоставе явно нет причин к закупорке русла, поэтому опасное повышение уровня воды может произойти лишь при большом расходе, когда уровень воды в реке на большом ее протяжении достиг или почти достиг опасной отметки. Прорыв дамб и наводнение может произойти также при нормальном уровне, если дамбы находились в плохом состоянии. Наконец, случается и ложное отнесение наводнения к ледоставу. При недостатке информации в районах постов может быть отмечен ледостав, а вскрытие между постами может остаться незамеченным наблюдателями обоих постов.

Некоторые авторы считают, что при холодах в больших полыньях может образовываться много шуги, которая, затягиваясь под лед в нижнем конце полыни, способна настолько стеснить русло, что вода выйдет из берегов. Этот процесс, очевидно, должен происходить медленно, гораздо медленнее, чем при зажорах на кромке льда, так как площадь полыни мала и не идет ни в какое сравнение с площадью открытой поверхности реки выше кромки, а так как количество образующейся шуги пропорционально площади охлаждающейся поверхности воды, то зашуговывание русла в многочисленных полынях должно приводить к медленному повышению уровня (без увеличения расхода воды) до его опасного значения.

Хотя сильные холода на Сырдарье не редкость, но не редкость и оттепели, так что для опасного повышения уровня может просто не хватить времени. В отношении Сырдарьи этот вопрос не ясен. Может случиться, что повышение уровня воды при холодах, которое иногда наблюдается при ледоставе, объясняется не только фабрикой шуги в полыньях, сколько просто замерзанием последних, что приводит к увеличению смоченного периметра водного сечения и, следовательно, и увеличению силы трения, а тем самым к повышению уровня воды.

Из 13 наводнений и разливов, отнесенных к ледоставу (см. табл. 22), два случая оказались сомнительными, два можно отнести к фазе замерзания, а из оставшихся девяти надежных случаев четыре были наводнениями и пять разливами.

Все девять случаев наблюдались при положительных аномалиях уровня, который превышал на 50 см, а чаще всего на 100 см многолетний средний январский уровень воды (январь без ледостава во внимание не принимались). В одном случае авария, возникшая при наименьшей (из девяти случаев) аномалии, была объяснена недо-смотром за дамбами.

Для двух случаев (двух зим) были характерны высокие уровни воды, установившиеся в начале ледостава на всей Сырдарье, благодаря большим расходам воды, наблюдавшимся перед ледоставом.

В четырех случаях наводнения или разливы наблюдались во время потеплений, когда температура воздуха достигала 0—5° мороза. В трех случаях они были при сильных холодах, достигавших в Казалинске —20° и ниже. О причинах этого можно только догадываться. Во время зимних авиаразведок на Сырдарье всегда отмечалось много полыней, число и размеры которых увеличивались при ослаблении и уменьшались при усилении холодов. В первом случае можно предполагать выход реки из берегов из-за подвижек льда, во втором случае морозы могли быть причиной забивки русла вновь образовавшейся в полыньях шугой.

Расходы воды во время опасных явлений на ближайших постах не были большими (были близкими к норме или меньше ее). В трех зимах они были большие только перед ледоставом, но уровень воды на всех постах за весь период ледостава держался значительно выше нормы. Следовательно, хотя непосредственной причиной опасных явлений был высокий уровень воды в течение всей зимы, все же основным источником их возникновения являлись осенние паводки, обеспечившие большой расход воды во время замерзания реки. Пока не проверено, является ли это обстоятельство правилом или случайностью.

Для характеристики уровня последний брался в виде аномалий двух родов. Аномалии первого рода вычислялись как отклонения наблюденного уровня воды в данную декаду от среднего многолетнего уровня за эту же декаду, т. е. как отклонения от переменной нормы. Аномалии второго рода определялись как отклонения от постоянной (для данного поста) нормы, равной среднему многолет-

нему уровню за январь (при подсчете нормы во внимание не принимались январь без ледостава). Январю было отдано предпочтение перед другими месяцами потому, что в этом месяце устойчивый ледостав бывает чаще всего. Взяв отклонения уровня от постоянной нормы (аномалии второго рода), мы тем самым имели возможность сравнивать не только пост с постом, но и декаду с декадой или месяц с месяцем.

На основании изложенного можно сделать следующие, хотя и малонадежные (из-за малого числа случаев) выводы:

1. Все опасные явления при ледоставе наблюдались при положительных аномалиях обоих видов, причем самые малые аномалии (12 см для аномалии второго рода) наблюдались по недосмотру во время наводнения 5 февраля 1949 г. В другие зимы они превышали 50 см.

2. Повышенный уровень воды на основном посту (т. е. ближайшем к месту наводнения) не всегда сопровождался повышенными уровнями на других, т. е. отдаленных постах. Так, наводнение в феврале 1958 г. происходило при высоком уровне только на посту Кара-Узяке (аномалия второго рода 61 см) и отчасти на посту Кзыл-Орде (аномалия 44 см), на других постах уровень был ниже январской нормы. Сказанное также относится к опасным явлениям в декабре 1957 г., когда высокий уровень воды наблюдался только в Казалинске.

3. Наводнения и другие опасные явления во время устойчивого ледостава случались также во время сильных морозов. Причина этого не выяснена. Может быть это связано с замерзанием полыней и тем самым с уменьшением скоростей течения воды благодаря увеличению сопротивлений, а не с образованием шуги в полынях, о чем мы уже говорили.

4. Во время ледостава опасные явления проходили при плавном изменении уровня воды, обычно при повышении его, т. е. высокий уровень на основном посту был таким же, как раньше и после наводнения. Таким образом, высокое стояние уровня на каком-либо посту указывает на возможность наводнения в районе этого поста.

5. Ввиду малого числа зим с опасными явлениями при ледоставе, критическую аномалию, т. е. уровень воды, при котором происходят наводнения при ледоставе, надежно установить нельзя. Имеющиеся сведения говорят, что если уровень воды на посту превышает январскую норму, т. е. имеет место положительная аномалия, то необходима бдительность; при уровне выше январской нормы на 50 см и более (аномалия больше 50 см) существует реальная угроза наводнения. Сказанное не относится к посту Тюмень-Арыку, для которого опасные аномалии завышены.

Для периода ледостава мы определили уровень на посту как единственный признак возможности опасного явления: чем он выше, тем больше опасность наводнения в районе данного поста. При этом, опасность наводнения на реке больше там, где выше отклонение уровня от его январской нормы.

8. Опасные явления во время вскрытия и замерзания

Нами исследованы все случаи опасных явлений с зимы 1948-49 г. по зиму 1960-61 г., причем выдающиеся наводнения были рассмотрены особо. Для каждой зимы было дано подробное описание и краткая характеристика как результат анализа. Эти описания могут представлять интерес для лиц, составляющих прогнозы и ведущих борьбу с ледовыми явлениями на Сырдарье и Амударье, но публиковать их в печати было бы нецелесообразно. Поэтому ограничимся краткими выводами.

1. Состояние защитных дамб наряду с гидрометеорологическими факторами входит в комплекс условий, вызывающих наводнения. Однако сведений о состоянии дамб в отчетах по водоборьбе мало. Можно привести лишь единичные случаи, когда наводнение объяснялось плохим состоянием защитных дамб.

2. Различные неучитываемые явления играют существенную роль в возникновении опасных явлений. Одной гидрометеорологической ситуацией, основанной на сетевых наблюдениях, нельзя объяснить все возможные опасные ситуации, в частности тем, что расход воды в Кок-Булаке был велик или мал.

3. Быстрое движение кромки льда не только вверх, но и вниз по реке не благоприятствует возникновению опасного явления. Такое движение осенью связано с очень низкими (для этого времени), а весной с очень высокими температурами воздуха.

4. Медленное движение кромки льда как вверх, так и вниз по реке способствует возникновению опасного явления, особенно когда скорость ее меняет знак, т. е. когда вскрытие переходит в замерзание или замерзание сменяется вскрытием. В первом случае заторное состояние переходит в зажорное, а во втором зажор сменяется затором. А так как подобные ситуации наблюдаются при колебании температуры воздуха около нуля, то подобная неустойчивая погода благоприятствует к возникновению опасного явления.

5. Опасным явлениям благоприятствуют высокие уровни воды, установившиеся еще осенью или в начале зимы на местах образования этих опасных явлений.

6. Большие расходы воды в Кок-Булаке и на месте благоприятствуют опасным явлениям.

7. Длительная зима, толстый лед на реке еще не влекут за собой обязательно тяжелое или легкое вскрытие, т. е. между этими элементами связи нет.

9. Уровень воды на ближайшем посту во время наступления опасных явлений

В настоящее время уровень воды на посту считается чуть ли не единственным доступным показателем существования или даже мощности опасного явления [14]. Для многих рек установлены так

называемые опасные (критические) отметки уровня воды в реке. Иногда они являются отметками на специальных водомерных постах, находящихся в створах сооружений, подвергающихся опасности наводнений, но чаще относятся к информационным постам Гидрометслужбы. Мы попытались найти такие отметки для основных постов, используя сведения о наблюдавшихся опасных явлениях.

Все наблюдаемые опасные явления были распределены по основным постам по принципу наименьших расстояний, т. е. каждое опасное явление относилось к тому посту, к которому оно было ближе. Обычно опасные явления наблюдаются при повышенном уровне воды на ближайшем посту, когда ход уровня похож на паводочный. Однако по времени опасное явление часто не совпадает с пиком такого паводка, а приходится то на подъем, то на спад, а то и на впадину. Нами были выписаны уровни на посту в день, раньше и позже дня опасного явления. Два последних были взяты с целью изучения «окружения» уровня в день опасного явления, которое могло оказаться представительнее последнего.

Были исследованы отдельно два уровня при опасном явлении: а) уровень в день этого явления и б) высший из двух — в день опасного явления и раньше его. Последний уровень (высший из двух) был признан лучшим и послужил для нахождения опасных значений уровня. Поэтому для каждого основного поста уровни при опасном явлении были выписаны в восходящие ряды, для которых были построены кривые обеспеченности. Оказалось, что опасные явления наблюдались при самых различных значениях уровня воды на посту, иногда значительно ниже принятых на посту опасных отметок.

Для каждого поста мы установили два критических уровня: низший при опасном явлении (первый критический уровень) и медианный. Второй находился обычным способом, первый искался среди крайних левых членов наших восходящих рядов, из которых несколько самых низких обычно отбрасывались как нехарактерные, после чего самый низший член из оставшегося ряда принимался за первый критический уровень. Например, в ряду уровней при опасном явлении поста Казалинска было отброшено два самых низких уровня. Первый оказался уровнем на спаде, второй без основания был принят для характеристики слишком отдаленного опасного явления (в 47 км ниже поста).

Следующий в ряду, третий по счету, уровень был принят в качестве первого критического.

В результате исследования выяснилось, что медианные критические уровни для всех постов близки к принятым опасным отметкам. Поэтому рекомендуется пересмотреть взгляд на опасные уровни на посту как на постоянные величины и считать их статистическими переменными, подчиненными некоторым законам распределения, как это предлагалось в работе [7].

Для ряда постов отчетливо выявились некоторые закономерности, которые на других постах, хотя и проявляются, но очень не отчетливо. Так, опасные явления, случающиеся выше поста Казалинска во время замерзания, сопровождаются в большинстве случаев (65%) падением уровня на посту, а сам уровень бывает всегда меньше нормального (многолетнего среднего месячного уровня за январь); наоборот, опасные явления, возникающие ниже поста, всегда проходили при высоком уровне. На других постах это снижение уровня хотя и обнаруживается, но не столь отчетливо и иначе. Для поста Кзыл-Орды характерно то, что близкие опасные явления проходили при несколько повышенном уровне на посту по сравнению с отдаленными.

Во время вскрытия уровни при опасных явлениях не зависят даже от того, произошли ли эти явления выше или ниже поста. Напрашивается вывод, что заторные явления не носят локального характера, т. е. каждое из них нужно представлять не как временное стеснение русла на некотором коротком участке, а как процесс, передвигающийся вниз вместе с кромкой льда, или как процесс, захватывающий участок большой длины.

Зависимости уровня при опасных явлениях от их вида не обнаружено. Хотя наводнения случались при самых высоких уровнях, все же были случаи, когда они наблюдались при одних из самых низких значений уровня. Поэтому по отношению к уровню воды наводнения ничем особенно не выделяются среди других опасных явлений, т. е. заторов, зажоров и разливов.

10. Расчет времени встречи паводка попуска с кромкой льда в заданном месте

Существование Чардаринского водохранилища (в 1525 км от устья) позволяет теперь вовсе исключить зимние наводнения, если расход в нижнем бьефе держать достаточно низким, так как боковая приточность ниже водохранилища мала. Вскрытие реки происходит в меженный маловодный период, и поэтому для маневрирования емкостью водохранилища имеется достаточный простор. Но всегда возможны различные чрезвычайные обстоятельства, которые могут потребовать выпуска из водохранилища столь больших масс воды, что может возникнуть опасность наводнения на кромке льда.

Представляет практический интерес рассчитать место встречи паводка, вызванного попуском из водохранилища, с кромкой льда.

Пусть l — расстояние в километрах от устья до соответствующих пунктов, которые будем обозначать индексами при l , а именно: l_p — положение кромки льда в момент начала попуска, l_v — место встречи кромки льда с догнавшим ее паводком попуска, $l_{\text{ч}}$ — плотина водохранилища Чардаринской ГЭС; $l_{\text{п}}$, $l_{\text{в}}$, $l_{\text{ч}}$ — соответствующие расстояния от устья, w — скорость движения кромки льда

и v — скорость движения паводка. Обе скорости берутся в км/сутки и являются средними на соответствующих участках.

Между указанными переменными должна существовать связь $(l_{\text{п}} - l_{\text{в}}) : \omega = (l_{\text{ч}} - l_{\text{в}}) : v$, позволяющая получить искомое расстояние

$$l_{\text{п}} = l_{\text{в}} + (l_{\text{ч}} - l_{\text{в}}) \frac{\omega}{v},$$

т. е. расстояние от устья до кромки льда в тот момент, когда сделан попуск из водохранилища. Расстояние $l_{\text{ч}}$ равно 1525 км, $l_{\text{в}}$ задается, скорость v принимается равной 90 км/сутки и относится к осенней межени для реки, свободной от льда; для больших паводков она может быть снята с имеющихся графиков ее связи с расходом воды. Затруднение возникает с определением скорости ω , довольно беспорядочно колеблющейся в широких пределах во времени и по длине реки. В главе III приведена прямая зависимость ω от величины $t + 5\tau_{50}$, где t — температура воздуха на кромке и τ — температура воды в 50 км выше кромки (обе они получены интерполяцией по наблюдениям на ближайших станциях и постах,

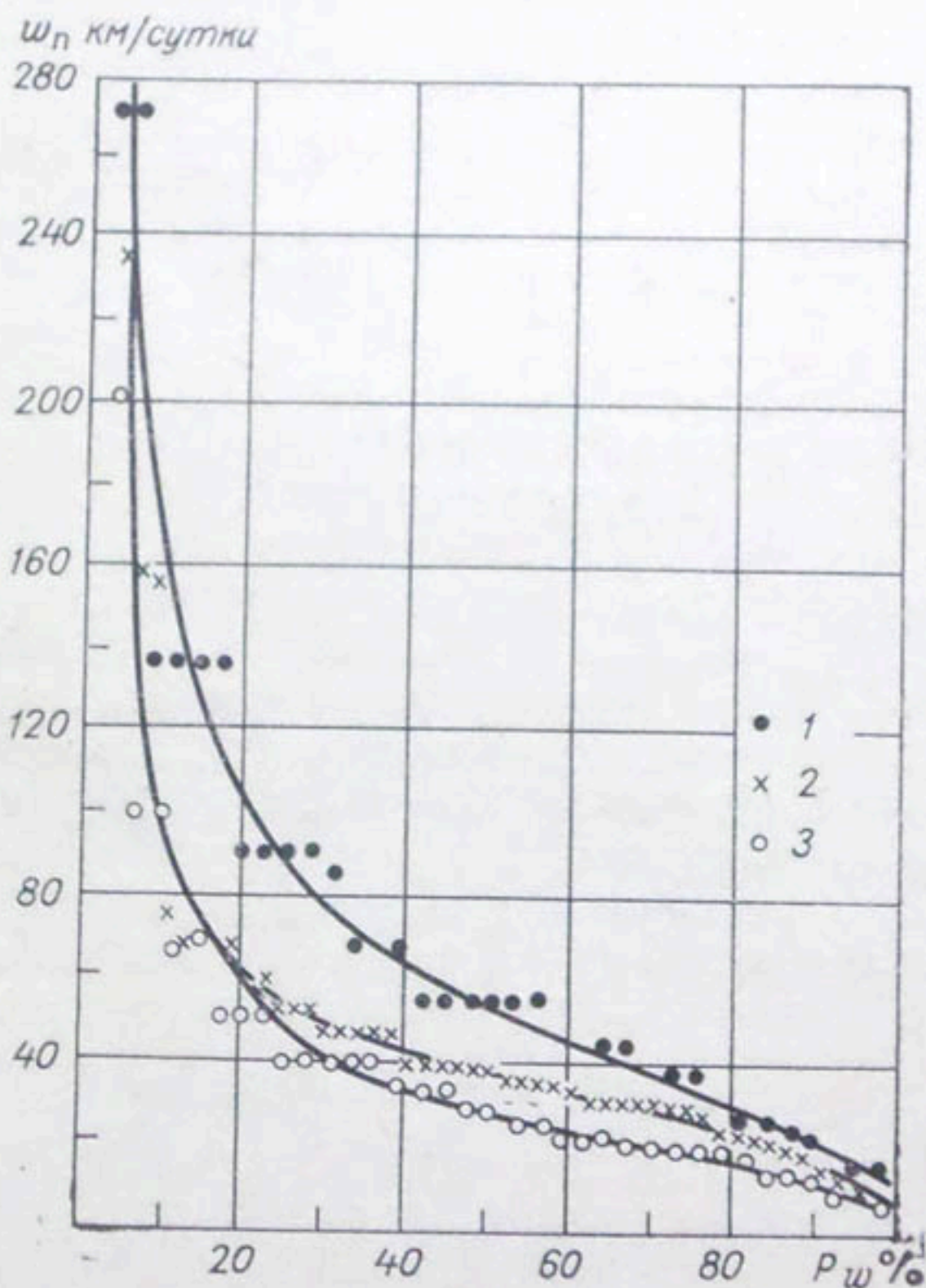


Рис. 32. Скорость движения кромки льда между постами $\omega_{\text{п}}$ и ее обеспеченность P_{ω} .
1 — Кармакчи — Казалинск, 2 — Кара-Узьяк — Казалинск, 3 — Кара-Узьяк — Кармакчи.

причем температура воды на кромке принималась равной нулю). Однако воспользоваться той связью затруднительно, так как t и τ нужно еще предсказать да и сама связь не принадлежит к тесным. Скорость w можно также получить по графику (см. рис. 13), где она представлена как многолетняя средняя величина в функции расстояния от устья, полученная из непосредственных наблюдений над кромкой льда, в том числе с воздуха.

Ниже излагается вероятностный расчет расстояния l_n , основанный на многолетних наблюдениях над вскрытием Сырдарьи на семи постах, которые ниже обозначены их расстоянием от устья в километрах. Скорость кромки w определялась как отношение расстояния между постами к разнице во времени вскрытия. Делалось это следующим образом:

а) составлялись таблицы ежегодных значений скорости кромки на участках реки 150—420, 150—620, 150—650, ..., 420—620, 420—650 км и т. д.

б) для каждого участка строились кривые обеспеченности (рис. 32) и с них снимались значения w , соответствующие стандартным $P = 10\%$, 20% , ..., 95% , 100% , которые заносились в поучастковые таблицы типа табл. 26 (графы 1 и 2).

Дадим интерпретацию какой-нибудь из строк табл. 26, например, строке $P = 80\%$. Она относится к случаям, когда кромка льда

Таблица 26

Расчет местоположения кромки льда (l_n) в момент попуска для скоростей движения кромки заданных обеспеченностей в зависимости от назначенного места встречи паводка с кромкой льда (l_b)

$P \%$	w км/сутки ¹	l_b км		
		100	250	400
1	2	3	4	5
10	158			
20	100	1690	1660	
30	78	1330	1350	1370
40	63	1095	1140	1180
50	53	968	1025	1085
60	45	810	885	960
70	38	700	780	875
80	30	570	670	770
90	22	440	560	675
95	20	415	530	650
100		100	250	400

¹ Скорость w дана для участка Кармакчи — Казалинск ($l_w^{(в)} = 420$ км, $l_w^{(п)} = 150$ км).

двигалась со скоростью 30 км/сутки и больше. При $w=30$ км/сутки паводок настиг бы уходящую от него кромку точно в 100 км от устья (при условии, что $l_{\text{п}}=570$ км); при $w>30$ км/сутки это случилось бы ниже, т. е. в пункте $l_{\text{в}}<100$ км. Иначе говоря, с вероятностью 0,80 следует ожидать, что попуск, сделанный, когда кромка льда находилась на 570-м км от устья, догонит кромку льда на расстоянии, не превышающем 100 км от устья. Аналогичный смысл имеют и все остальные строки всех поучастковых таблиц.

Формально каждая поучастковая таблица (типа табл. 26) содержит все сведения для расчета вероятности встречи паводка попуска с кромкой льда ниже любого места при попуске, совершенном при любом исходном положении кромки льда $l_{\text{п}}$, так как недостающие в ней значения переменных могут быть интерполированы; например, с вероятностью 0,91 можно ожидать, что паводок попуска, сделанного при $l_{\text{п}}=670$ км, догонит кромку ниже 400 км (колонка 5).

Фактически каждая поучастковая таблица пригодна лишь для таких участков, границы которых $l_{\text{п}}$ и $l_{\text{в}}$ находятся близко к гидрологическим постам, а если говорить строго, то совпадают с ними, так как кривые обеспеченности $F(w, P)=0$ были построены на основании наблюдений на этих постах.

Более правильное решение задачи получим следующим преобразованием поучастковых таблиц по типу табл. 26, каждая из которых относится к участку от $l_{\text{п}}^{(\text{н})}$ (нижний пост) до $l_{\text{п}}^{(\text{в})}$ (верхний пост).

Интерполяцией находим P для $l_{\text{п}}$, удовлетворяющих условию $l_{\text{п}}=l_{\text{п}}^{(\text{в})}$. Например, табл. 26 позволяет найти P , отвечающие $l_{\text{п}}^{(\text{н})}=150$ км, $l_{\text{п}}^{(\text{в})}=l_{\text{п}}=420$ км, $l_{\text{в}}=100, 250, 400$ км и равные соответственно 94, 96, 99%.

Аналогичным образом обрабатывают все остальные поучастковые таблицы и по полученным $l_{\text{п}}=l_{\text{п}}^{(\text{в})}$ и P строят кривые обеспеченности $l_{\text{в}}=\text{const}$ (рис. 33). При этом скорость кромки льда w берется на участках с границами нижней $l_{\text{п}}^{(\text{н})}$ и верхней $l_{\text{п}}^{(\text{в})}$ (километры от устья):

$l_{\text{в}}$	$l_{\text{п}}^{(\text{н})}$	$l_{\text{п}}^{(\text{в})}$	$l_{\text{в}}$	$l_{\text{п}}^{(\text{н})}$	$l_{\text{п}}^{(\text{в})}$
100	150	420—970	650	620	970—1400
250	150	420—970	800	620	970
400	420	620—970	1050	970	1250, 1400

Далее график рис. 33 используют следующим образом. Пусть попуск сделан тогда, когда кромка льда находилась на расстоянии $l_{\text{п}}=600$ км от устья; тогда, согласно графику, вероятность встречи паводка попуска с кромкой не выше 100-го км от устья составит 0,58, не выше 250-го км — 0,79 и, следовательно, вероятность встречи на участке от 100-го км до 250-го км равна 0,21.

В этих расчетах автоматически учтено увеличение скорости движения кромки льда при приближении ее к устью реки, а в неко-

торой степени, косвенно, сезон и температура воздуха, так как вблизи устья кромка бывает в более позднее и поэтому в более теплое время года.

Применение описанных расчетов для Сырдарьи не представляет затруднений, так как за местоположением кромки льда при опасных ситуациях наблюдения ведутся ежедневно.

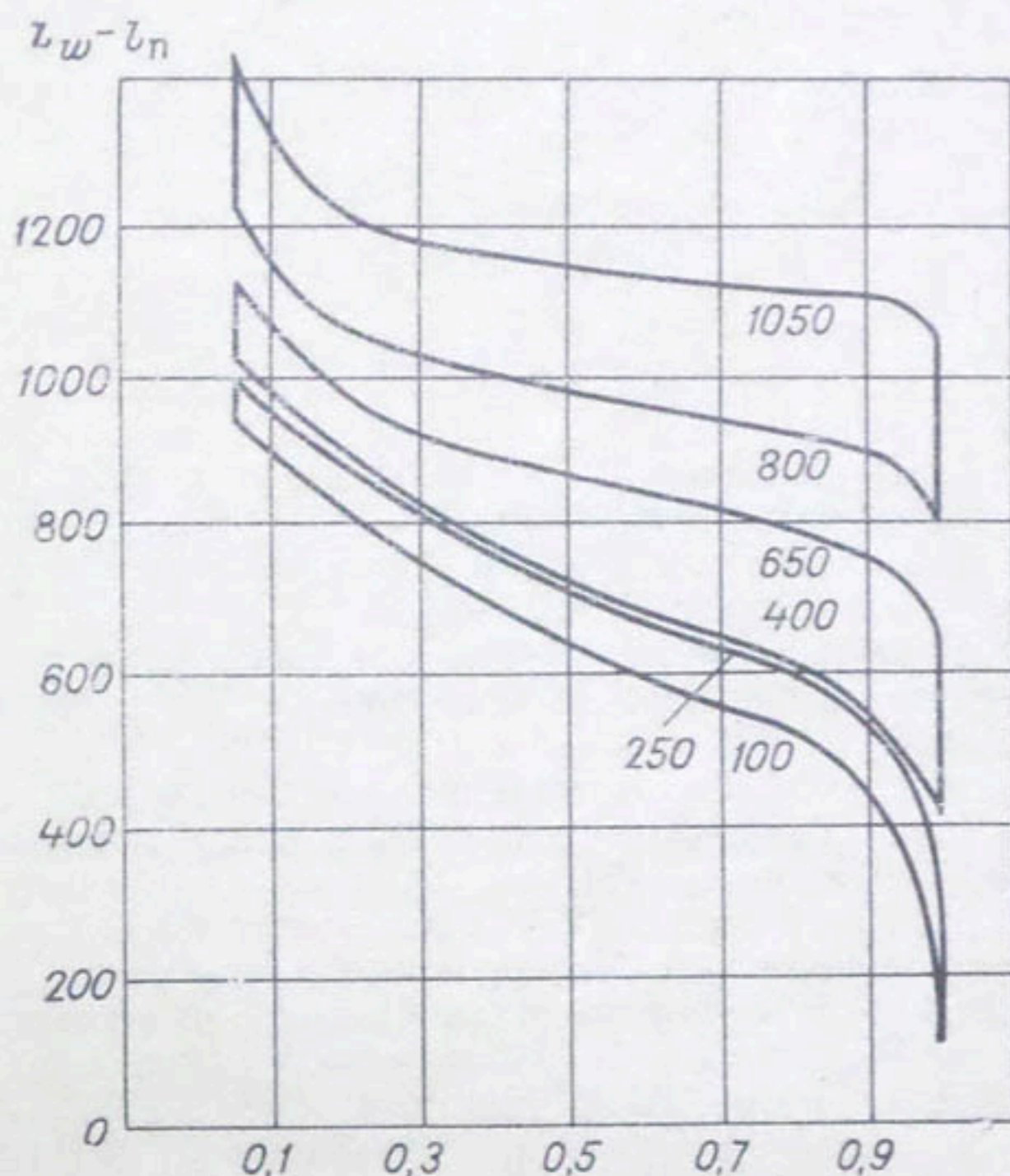


Рис. 33. Кривые вероятностей встречи паводка пуща с кромкой льда на расстоянии не выше $l_n = 100, 250, 400, 650, 800, 1050$ км от устья, при условии, что паводок движется со скоростью 90 км/сутки и что пуск будет сделан тогда, когда кромка льда будет находиться на расстоянии l_n от устья.

Скорость движения паводков v принята здесь равной 90 км/сутки, для других скоростей требуется построение новых графиков типа, изображенного на рис. 33. Особенно это относится к крутым искусственным паводкам, один из которых был описан в главе IV (см. рис. 28).

ЛИТЕРАТУРА

1. Аполлов Б. А., Калинин Г. П. и Комаров В. Д. Гидрологические прогнозы. Гидрометеиздат, Л., 1960.
2. Архипов В. А. и Машуков П. М. Движение паводков на реке Сыр-Дарье при ледоставе. Труды САНИГМИ, вып. 7(22), 1961.
3. Архипов В. А. О расчете продвижения кромки льда при замерзании по данным авиаразведок (на примере Сыр-Дарьи). Науч. труды ТГУ, вып. 237, гидрология, Ташкент, 1964.
4. Захаров В. П. Ледовый режим низовий рек Средней Азии и вопросы его исследования. Сб. «Гидрометеорология в помощь народному хозяйству». Изд. АН УзССР, Ташкент, 1954.
5. Захаров В. П. и Чижев О. П. О борьбе с ледяными заторами на Сыр-Дарье путем взрывных работ. Метеорология и гидрология, № 1, 1956.
6. Лисер И. Я. Весенние заторы на реках Сибири. Гидрометеиздат, Л., 1967.
7. Лукина Н. К. и Машуков П. М. Анализ критических отметок уровня воды в Аму-Дарье. Труды САНИГМИ, вып. 3 (18), 1960.
8. Машуков П. М. Ледовый режим р. Сыр-Дарьи по данным авиаразведок. Труды Ташкентской геофизической обсерватории, вып. 15 (16), 1957.
9. Машуков П. М. Анализ и прогноз ледовых явлений на Аму-Дарье. Гидрометеиздат, Л., 1958.
10. Машуков П. М. Зимний режим Сыр-Дарьи в Ферганской долине. Сб. «Гидрометеорология в помощь народному хозяйству». Изд. АН УзССР, Ташкент, 1954.
11. Нежиховский Р. А. Гидрологические расчеты и прогнозы при эксплуатации водохранилищ и озер, Гидрометеиздат, Л., 1961.
12. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики, т. 14. Бассейны рек Средней Азии, вып. 1. Бассейн р. Сыр-Дарьи. Гидрометеиздат, Л., 1967.
13. Руководство по гидрологическим прогнозам, вып. 1. Краткосрочные прогнозы расходов и уровней воды на реках. Гидрометеиздат, Л., 1964.
14. Руководство по гидрологическим прогнозам, вып. 4. Прогнозы ледовых явлений на реках и водохранилищах. Гидрометеиздат, Л., 1963.
15. Сведения об уровне воды на реках и озерах СССР 1901—30 гг. Замкнутые бассейны Казахстана и Средней Азии. Гидрометеиздат, Л., 1941.
16. То же, 1931—35 гг., т. XXV. Гидрометеиздат, Л., 1948.
17. Справочник по климату СССР, вып. 19. Узбекская ССР, часть II. Температура воздуха и почвы. Гидрометеиздат, Л., 1965.
18. Справочник по климату СССР, вып. 18. Казахская ССР, часть II. Температура воздуха и почвы. Гидрометеиздат, Л., 1966.
19. Чижев О. П. О возможности прогноза уровня Аму-Дарьи при ее замерзании. Метеорология и гидрология, № 5, 1955.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение :	5
Глава I. Высший уровень воды в р. Сырдарье зимой	9
1. Характеристика материалов наблюдений над уровнем воды	10
2. Многолетние данные о высшем уровне	14
3. Соотношение между высшим зимним и высшим летним уровнем воды	21
4. Зависимость высшего зимнего уровня на нижних постах от расхода воды в Кок-Булаке	26
5. Инерционные связи между уровнями зимних месяцев	29
Глава II. Русловое регулирование стока, связанное с движением кромки льда и другими ледовыми явлениями	33
1. Простейшая теория	—
2. Иллюстрация теории на материале зимы 1957-58 г.	40
3. Расчет изменения расхода воды, вызванного движением кромки льда зимой 1955-56 г.	42
4. Результаты анализа нескольких зим	51
5. Выводы	55
Глава III. Движение кромки льда	59
1. Процессы образования и движения кромки льда	—
2. Характер ледовых явлений на отдельных участках Сырдарьи	60
3. Материалы наблюдений над движением кромки льда	61
4. Средняя декадная скорость движения кромки льда	66
5. Время пробега кромкой льда 100 км пути	68
6. Весеннее движение кромки льда	72
7. Зависимость скорости движения кромки льда от температуры воздуха и воды	74
8. Связь скорости движения кромки льда с температурой воды и воздуха у кромки льда	78
9. Скорость движения кромки льда в зависимости от толщины льда на гидрологических станциях	87
Глава IV. Движение паводков	88
1. Определение времени пробега воды для реки, свободной от льда	89
2. Определение времени пробега воды при ледяном покрове	91
3. Связи между соответственными средними декадными расходами и уровнями воды при ледоставе. О точности определения расходов и уровней воды	92
4. Связи между ежедневными уровнями воды при ледоставе	98
5. Зависимость между ежедневными соответственными уровнями воды	

в Чардаре (Кок-Булаке) и на нижележащих постах	103
6. Движение искусственных паводков	106
Глава V. Наводнения и другие опасные явления	111
1. Материалы об опасных явлениях и их анализ	—
2. Связь опасных явлений с уровнем воды на ближайшем посту	115
3. Связь числа опасных явлений с расходом воды	117
4. О надежности критического расхода $475 \text{ м}^3/\text{сек}$	121
5. О мере мощности опасных явлений	124
6. Разбор конкретных наводнений (аварий)	125
7. Опасные явления при ледоставе	126
8. Опасные явления во время вскрытия и замерзания	129
9. Уровень воды на ближайшем посту во время наступления опасных явлений	—
10. Расчет времени встречи паводка попуска с кромкой льда в заданном месте	131
Литература	136

МАШУКОВ ПЕТР МИХАЙЛОВИЧ

ТРУДЫ САНИГМИ, ВЫП. 45 (60)

Гидрометеорологические условия
зимних наводнений на р. Сырдарье

Редактор И. С. Якорь
Техн. редактор Г. В. Ивкова
Корректор Е. В. Леякова

Сдано в набор 26/II 1969 г. Подписано к печати
18/VII 1969 г. Бумага $60 \times 90^{1/16}$. Бум. тип. № 2 Бум. л.
4,375. Печ. л. 8,75. Уч.-изд. л. 9,39. Тираж 400.
М-15649. Индекс ГЛ-14.

Гидрометеорологическое издательство.
Ленинград, В-53, 2-я линия, д. № 23.

Заказ 324. Цена 63 коп.

Сортавальская книжная типография Управления
по печати при Совете Министров КАССР
Сортавала, Карельская, 42

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ГОТОВИТ К ВЫПУСКУ В 1970 ГОДУ
СЛЕДУЮЩИЕ МОНОГРАФИИ ПО ГИДРОЛОГИИ:

Вендров С. Л. Проблемы искусственных речных систем. 16 л.
1 р. 30 к.

Владимиров А. М. Минимальный сток рек СССР. 12 л.
95 коп.

Карасев И. Ф. Русловые процессы при переброске стока.
15 л. 1 р. 10 к.

Картвелишвили Н. А. Регулирование речного стока. 20 л.
1 р. 46 к. (в перепл.).

Флейшман С. М. Сели. 20 л. 1 р. 46 к. (в перепл.).

Монографии рассчитаны на гидрологов, гидротехников, специалистов в области изучения и практического использования водных ресурсов.

*Заказы на эти книги просим сдавать в местные
книготорги или присылать по адресу: г. Ленинград,
П-101, Большой пр., д. 57, магазин № 15 Ленкниги.*

ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ