

551
С-45
40023

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ

ISSN 0130—4887

ТРУДЫ
СРЕДНЕАЗИАТСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
им. В. А. БУГАЕВА

Выпуск 127(208)

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ
В СРЕДНЕЙ АЗИИ

МОСКВА
ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ
1988

551
С-45
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ

ТРУДЫ
СРЕДНЕАЗИАТСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
им. В. А. БУГАЕВА

Выпуск

127(208)

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ
В СРЕДНЕЙ АЗИИ

40025
Под редакцией
кандидатов геогр. наук Ю. Н. ИВАНОВА,
Д. Х. САЛИХОВОЙ



МОСКВА · МОСКОВСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОИЗДАТА — 1988

В статьях сборника рассматриваются проблемы изучения гидрологического режима территории Средней Азии.

Обсуждаются различные аспекты разработки методик гидрологических прогнозов стока рек, селевой опасности и ледовых явлений.

Разработан метод прогноза месячных величин притока к Андижанскому водохранилищу с использованием традиционного статистико-эмпирического подхода к решению задачи и с применением математической модели формирования снежного покрова и стока в горах.

Значительное место занимают работы по изучению формирования водно-солевого баланса зоны орошаемых земель, в которых рассмотрены как комплексные проблемы, так и частные вопросы методики измерения влажности почв, применения новых дистанционных методов в исследовании (радиометрический СВЧ-метод).

Сборник рассчитан на гидрологов, мелиораторов, научных работников гидрологических специальностей.

МЕТОД ПРОГНОЗА ПРИТОКА ВОДЫ В АНДИЖАНСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ НА РАЗЛИЧНЫЕ ПЕРИОДЫ ГОДА

Гидрологическая характеристика бассейна водохранилища

Андижанское водохранилище построено на р. Карадарья, в юго-восточной части Ферганской долины. Режим реки таков, что большая часть стока половодья проходит в первую половину вегетационного периода (апрель — сентябрь), а во второй половине, когда возникает наибольшая потребность в воде, ее не хватает. С целью повышения водообеспеченности земель старого орошения, орошения вновь осваиваемых земель и ликвидации ежегодного дефицита воды в наиболее напряженные периоды на реке и построено это водохранилище. Общая емкость его 1750 млн. м³, полезная — 1600 млн. м³.

Река Карадарья образуется от слияния рек Тар и Каракульджа в 180 км от устья. Ниже в нее впадают два крупных притока: справа р. Яссы на 143-м километре и слева р. Куршаб на 142-м километре от устья. Бассейн Карадарьи представляет собой горную область в юго-восточной части Ферганской котловины, на стыке Ферганского и Алайского хребтов.

Сток реки формируется на юго-западном склоне Ферганского хребта и северном склоне Алайского хребта. Ферганский хребет повышается к юго-востоку и у стыка с Алайским отметки его вершин достигают 5000 м. Отметки гребней Алайского хребта почти повсюду превышают 4500 м и только в водосборе р. Куршаб гребень хребта немного ниже [6]. Этим определяется характер питания и внутригодового распределения стока рек рассматриваемого бассейна.

В бассейне Карадарьи имеется 382 ледника общей площадью 107 км² [10]. Сложность и многообразие рельефа бассейна Карадарьи обусловили разнообразие в накоплении и расходовании снегозапасов в разных частях бассейна и, как следствие, различие в режиме стока р. Карадарьи, ее основных составляющих и притоков (табл. 1).

На р. Яссы, имеющей более низкий водосбор, половодье начинается в марте, наибольшего развития достигает в мае, когда проходит 25,9% стока от годового объема, заканчивается половодье

Пункт наблюдений за стоком и основные гидрографические характеристики водосборов рек

Таблица 1

Река, пункт	Расстояние от устья, км	Средняя взвешенная высота водосбора, м	Площадь водосбора, км ²	Площадь оледенения, км ²	Среднегодовой модуль стока, л/(с. км ²)	Тип питания	Дата	
							открытия	закрытия
Карадарья, Кампыррават	140	2600	12400	106,7	10,2	Снегово-ледниковый	14 IX 1910	III 1975
Карадарья, Карабагш	135		12400				I I 1969	Действующий
Отводящий канал, Тополино	140						I IV 1969	»
Карадарья, Узген	164	1870	5840		11,0	»	I XI 1929 I I 1966	I3 VI 1934 Действующий
Курушаб, Гульча	74	3010	2010	15,8	8,33	»	20 III 1937	»
Курушаб, Кочкор-Ата	28	2700	3240		6,81	»	7 IV 1927 I I 1966	I3 III 1947 Действующий
Тар, Чолма	25	2810	3840	63,0	12,2	»	10 X 1937	»
Каракульджа, Ак-Таш	38	3250	907	23,5	23,5	»	18 XII 1937	»
Яссы, Саламалик	57	2590	1180		19,0	Снеговой	I VI 1930	»
Яссы, «Выше устья р. Зергер»	23		2000		19,7	»	I I 1966	I9 IX 1975
Яссы, Узген	13	2150	2620	4,4	(13,3)	»	I VII 1980	Действующий
Кульдук *, Сары-Булак	5	2150	150		15,0	»	25 III 1927	7 VI 1980
Донгузатау * Донгуз-Тай	6,6	2000	166		16,3	»	I IV 1930	Действующий
Зергер *, Тассай	21	2020	216		13,6	»	I IV 1930	»

Примечание. Звездочкой отмечены притоки р. Яссы.

в сентябре. На этой реке основной сток концентрируется в первую половину вегетационного периода (62,5% объема годового стока), а на вторую половину приходится всего 16,1% годового стока. В этом отношении режим стока р. Яссы является неблагоприятным для орошаемого земледелия, так как во второй половине вегетационного периода сток реки существенно уменьшается, а потребность в оросительной воде возрастает. На реках Каракульджа, Тар и Куршаб половодье начинается в апреле, наибольшего развития достигает в июне и заканчивается в октябре. По этим рекам в июне проходит 20—23% годового объема стока, на первую половину вегетационного периода приходится 39—47%, а на вторую половину — 35—37% годового объема стока.

Река Карадарья относится к рекам снегово-ледникового питания. Ледниковое питание составляет 5% годового стока, а дождевое — 1,7% [9, 10]. Основное питание река получает от таяния сезонного снега. Половодье состоит из отдельных паводков, вызываемых выпадением дождей, таянием снега и ледников.

Расчет средних месячных расходов притока воды в водохранилище

Приток воды в водохранилище учитывается по суммарному стоку рек Карадарья (в створе п. Узген), Куршаб (в створе п. Кочкор-Ата) и Яссы (в створе п. Узген). Створ Узген на р. Яссы в июне 1980 г. был затоплен при наполнении водохранилища до проектной отметки и перестал существовать. Наблюдения за расходами на р. Яссы с июля 1980 г. начаты в 10 км выше п. Узген и в 2,5 км выше впадения р. Зергер в р. Яссы. Данные по стоку по этому последнему посту имелись, кроме того, с 1970 по август 1975 г.

По п. Узген на р. Карадарья наблюдения за стоком велись с 1929 по май 1934 г. и снова начаты с июня 1970 г. По п. Кочкор-Ата на р. Куршаб данные о расходах воды имеются с перерывами с 1928 по 1947 г. Наблюдения вновь начаты с января 1970 г. По п. Тассай на р. Зергер, впадающей в р. Яссы ниже гидропоста «Выше устья р. Зергер», наблюдения за стоком ведутся без перерыва с 1932 г.

Кроме перечисленных гидрологических постов, наблюдения за стоком ведутся по гидропостам Гульча на р. Куршаб, Чолма на р. Тар, Ак-Таш на р. Каракульджа, Саламалик на р. Яссы, Сары-Булак на р. Кульдук и Донгуз-Тау на р. Донгузтау. Последние две реки являются притоками р. Яссы, впадающими в нее выше гидропоста «Выше устья р. Зергер». Все перечисленные гидрологические посты на этих последних реках, а также гидропост Тассай на р. Зергер расположены у выхода рек из гор и учитывают естественный сток.

Таким образом, полные одновременные данные по стоку рек Карадарья (у Узгена), Куршаб (у Кочкор-Аты) и Яссы (у «Выше устья р. Зергер») имелись с июня 1970 г. по август 1975 г. Этого ряда данных недостаточно для разработки метода долго-

срочных гидрологических прогнозов, поэтому сделана попытка восстановить средние месячные расходы по гидропосту «Выше устья р. Зергер» на р. Яссы с сентября 1975 по 1979 г. Так как средние месячные расходы по этому посту имелись всего за 5—6 лет, то поиски уравнений для расчета средних месячных расходов за недостающие годы производились отдельно для периода половодья и периода межени.

В результате поиска для расчета средних месячных расходов воды получены уравнения: для периода март — июль

$$y_1 = 0,922 Q_1 - 12,7, \quad (1)$$

для периода август — февраль

$$y_2 = 0,752 Q_2 - 8,1, \quad (2)$$

где Q_1 и Q_2 — средние месячные расходы воды по р. Яссы у п. Узген. Коэффициенты корреляции для уравнения (1) $r = 0,993$ и для (2) $r = 0,926$.

По этим уравнениям были рассчитаны средние месячные расходы воды р. Яссы — «Выше устья р. Зергер» с сентября 1975 г. по декабрь 1979 г. включительно. Таким образом, средние месячные расходы воды по рекам Карадарья (п. Узген), Куршаб (п. Кочкор-Ата) и Яссы (п. «Выше устья р. Зергер») имелись с июня 1970 г. по 1979 г. Однако и этого десятилетнего ряда средних месячных расходов недостаточно для разработки метода долгосрочных прогнозов. По этой причине необходимо было найти уравнения для расчета средних месячных расходов по перечисленным рекам за более ранние годы. Поскольку необходим был суммарный сток этих рек, то поиски уравнений делались не для каждой реки, а для суммарных средних месячных расходов рек Карадарья — п. Узген, Куршаб — п. Кочкор-Ата и Яссы — п. «Выше устья р. Зергер». Фактический сток р. Зергер, впадающей в р. Яссы ниже п. «Выше устья р. Зергер», имелся с 1932 г. Десятилетний ряд данных о суммарных средних месячных расходах воды включал в себя маловодные, близкие к нормальным, и всего лишь один многоводный год (1979), что не позволило производить поиски уравнений для расчета средних месячных расходов для каждого месяца отдельно. Поэтому, как и для р. Яссы у п. «Выше устья р. Зергер», велись поиски уравнений для периода половодья и периода межени.

В результате для расчета средних месячных расходов меженного (сентябрь — март) периода получено уравнение

$$y_1 = 0,832 Q_1 + 1,4, \quad (3)$$

где Q_1 — средние месячные расходы воды по р. Карадарья у Кампырравата.

При этом с марта 1975 г. вместо расходов воды по п. Кампыррават, в створе которого началось строительство плотины Андиганского водохранилища и гидропост перестал существовать, брались суммарные расходы в створах п. Карабагиш, располо-

женного в 5 км ниже по течению реки, п. Тополино на канале, забирающем воду из р. Карадарья между постами Кампыррават и Карабагиш, и водозабор в небольшой канал Туш, голова которого находится немного выше п. Карабагиш. Как показал анализ данных о стоке за параллельный период наблюдений (с 1969 по 1974 г.), между средними месячными расходами р. Карадарья у Кампырравата и суммарными расходами в створах Карабагиш, Тополино и в голове канала Туш сходимость хорошая. Коэффициент корреляции для зависимости (3) $r=0,926$.

Для периода апрель — август получено уравнение

$$y_2 = 0,544 Q_1 + 0,580 Q_2 - 27,1, \quad (4)$$

где Q_1 — средние месячные расходы воды р. Карадарья — п. Кампыррават; Q_2 — сумма средних месячных расходов воды рек Куршаб, Тар, Каракульджа, Яссы и Кульдук. Вклад первого предиктора составляет $\Delta_1=0,483$ и второго $\Delta_2=0,517$. Общий коэффициент корреляции $R=0,996$.

По уравнениям (3) и (4) были рассчитаны суммарные средние месячные расходы воды рек Карадарья, Куршаб и Яссы с 1947 по май 1970 г. (табл. 2). В этой таблице даются суммарные средние месячные расходы воды, рассчитанные с июня 1970 г. по август 1975 г. по фактическим данным, с сентября 1975 г. по декабрь 1979 г. — по данным рек Карадарья у Узгена, Куршаб у Кочкор-Аты и по уравнениям (1) и (2) для р. Яссы — «Выше устья р. Зергер». На рис. 1 приводится зависимость между фактическими (ось y) и рассчитанными (ось x) по уравнениям (3) и (4) суммарными расходами рек Карадарья, Куршаб и Яссы, из которых видно, что между этими расходами довольно хорошая сходимость. К полученным средним месячным расходам (табл. 2) прибавлены средние месячные расходы воды р. Зергер у Тассая (табл. 3).

Между гидропостом Узген на р. Яссы, расположенным в зоне кривой подпора от водохранилища при наполнении его до про-

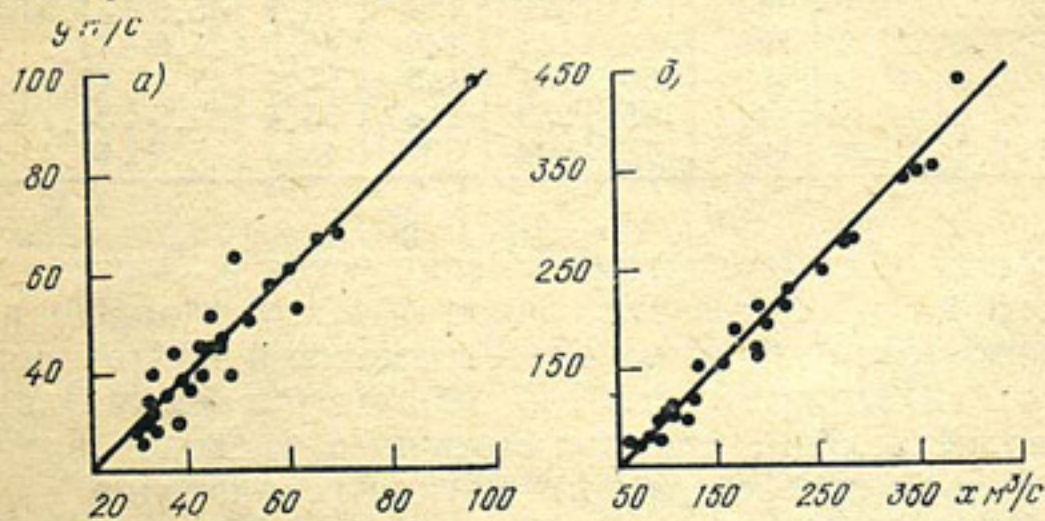


Рис. 1. Связь измеренных суммарных расходов воды рек Карадарья — п. Узген, Куршаб — п. Кочкор-Ата и Яссы — п. «Выше устья р. Зергер» и рассчитанных для периодов:

а — сентябрь — март, б — апрель — август

Суммарный средний месячный расход воды ($\text{м}^3/\text{с}$) рек Карадарья — п. Узген, Куршаб — п. Кочкор-Ата и Яссы — п. «Выше устья р. Зергер»

Год	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1947	42,0	38,3	47,2	61,4	117	138	97,9	75,1	49,7	44,7	48,2	38,6
1948	34,1	32,8	38,3	83,5	221	272	316	120	63,0	56,9	48,9	43,3
1949	37,8	36,6	46,0	136	304	336	288	152	90,4	68,4	53,4	43,7
1950	40,0	37,2	47,2	57,2	290	246	157	84,2	53,4	44,9	43,0	32,9
1951	31,3	30,0	39,3	74,0	293	246	204	129	63,7	87,9	90,4	64,0
1952	49,7	49,1	54,9	286	463	487	362	203	95,4	60,7	49,7	42,4
1953	39,7	40,8	53,2	105	426	435	286	142	81,0	73,2	70,3	63,9
1954	51,0	49,2	70,1	210	256	380	325	260	110	79,5	63,0	50,7
1955	44,4	48,9	73,5	122	344	412	212	171	81,9	62,6	56,1	53,5
1956	44,5	46,7	60,0	157	362	312	274	112	71,3	60,1	49,3	40,5
1957	35,3	35,5	47,6	59,7	109	260	215	122	53,9	54,0	51,1	41,7
1958	36,7	35,7	49,4	237	306	526	422	163	84,0	70,4	52,9	45,7
1959	38,2	37,4	52,2	185	241	324	225	128	76,1	58,7	49,9	44,7
1960	40,6	44,8	52,6	124	343	389	261	112	56,0	55,0	53,9	42,6
1961	37,9	36,0	49,8	103	190	117	88,4	62,1	48,2	43,7	39,8	32,6
1962	28,6	32,6	39,9	42,8	119	154	90,9	54,0	43,1	40,1	36,3	31,4
1963	29,8	35,0	42,4	130	245	274	157	76,8	44,2	46,2	51,0	39,3
1964	29,4	29,6	55,0	136	236	365	283	124	56,3	48,7	40,8	33,3
1965	28,9	28,6	31,2	34,3	89,4	84,3	94,4	45,2	31,2	34,8	44,9	30,8
1966	27,7	35,7	60,3	154	377	536	297	162	85,4	67,2	55,1	48,4
1967	37,2	38,4	48,9	120	211	300	228	104	44,8	52,6	47,5	43,0
1968	36,3	32,6	41,2	85,7	208	292	164	83,0	43,2	44,0	45,3	43,2
1969	34,5	35,3	91,3	222	536	631	(460)	(180)	81,5	89,6	73,4	58,2
1970	46,6	47,4	57,8	(196)	331	346	247	192	98,3	67,5	60,4	51,0
1971	45,2	36,8	67,2	157	272	434	213	108	72,5	63,0	51,5	44,0
1972	38,6	36,6	39,9	99,1	212	278	172	103	50,0	57,9	52,6	47,0
1973	36,4	37,0	50,1	191	341	352	164	76,6	50,4	39,3	30,6	29,9
1974	28,6	27,8	39,6	69,6	81,4	104	75,1	53,0	30,7	45,4	35,6	31,3
1975	27,7	26,9	452	114	119	229	153	76,1	45,9	31,9	33,0	32,0
1976	28,1	27,4	30,2	170	306	148	146	46,7	31,0	41,2	42,0	31,8
1977	25,8	26,6	48,0	109	160	236	115	65,9	47,4	49,7	57,9	41,5
1978	37,1	35,2	47,8	146	198	238	114	55,4	32,9	30,1	31,9	31,6
1979	28,8	29,3	31,9	293	376	603	334	133	77,5	67,4	51,6	39,8

ектной отметки, и гидропостами «Выше устья р. Зергер» на р. Яссы и Тассай на р. Зергер заключено 404 км^2 площади водосбора этой реки, поэтому для выяснения возможной приточности в русло р. Яссы или потерь из него на рассматриваемом участке произведено сопоставление средних месячных расходов воды в створе Узген и суммарных средних месячных расходов р. Яссы — п. «Выше устья р. Зергер» и р. Зергер — п. Тассай за имевшийся период с 1970 по 1979 г. Анализ этих расходов показал, что во все месяцы года на рассматриваемом участке реки наблюдается приточность, которая в среднем за 1970—1979 гг. изменяется от $9,4 \text{ м}^3/\text{с}$ в феврале до $15,3 \text{ м}^3/\text{с}$ в июне. В табл. 4 даны

Таблица 3

Суммарный средний месячный расход воды (м³/с) рек Карадарья — п. Узген,
 Куршаб — п. Кочкор-Ата,
 Яссы — п. «Выше устья р. Зергер» и Зергер — п. Тассай

Год	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1947	43,2	39,4	49,9	64,3	119	140	98,8	75,7	50,3	45,4	49,4	39,3
1948	34,7	33,5	39,8	92,5	229	275	317	121	63,9	57,7	49,7	44,1
1949	38,7	37,4	47,8	148	316	343	291	154	92,0	69,8	54,6	44,9
1950	41,1	38,2	49,2	61,9	295	248	158	85,0	54,2	45,7	44,0	33,8
1951	32,1	30,7	41,0	79,8	301	249	206	130	64,6	89,4	93,4	65,9
1952	51,0	50,5	57,4	306	475	492	365	205	96,7	61,9	50,9	43,7
1953	40,9	42,1	56,2	117	439	439	288	144	82,4	75,1	72,8	66,3
1954	53,0	51,0	73,6	229	267	386	329	263	112	80,9	64,4	52,0
1955	45,7	50,1	76,7	132	355	416	214	172	83,2	63,7	57,3	54,6
1956	45,6	47,8	62,0	169	371	315	276	113	72,3	61,0	50,2	41,4
1957	36,2	36,5	49,6	64,8	113	263	216	123	54,7	54,9	52,1	42,6
1958	37,6	36,8	51,7	253	316	532	425	165	85,4	71,8	54,1	46,9
1959	39,4	38,6	54,9	202	249	327	227	130	77,3	60,0	51,2	46,0
1960	41,9	46,4	55,0	136	363	396	264	114	57,5	56,4	55,4	43,9
1961	39,0	37,2	52,4	111	194	118	89,4	63,0	49,0	44,6	40,7	33,4
1962	29,4	33,6	42,2	46,3	122	155	91,7	54,7	43,8	40,8	37,3	32,4
1963	30,8	36,2	44,7	140	252	277	159	78,1	45,4	47,4	52,4	40,5
1964	30,4	30,5	58,5	149	247	369	285	125	57,4	49,8	41,8	34,2
1965	29,8	29,6	32,5	37,1	91,4	85,3	95,1	45,8	31,9	35,7	46,6	31,9
1966	28,7	37,0	64,4	168	392	541	299	164	86,8	68,6	56,2	49,6
1967	38,5	39,6	51,3	126	216	302	299	105	45,7	53,6	48,4	43,8
1968	37,2	33,6	43,1	92,3	214	295	165	83,4	44,1	44,9	46,3	44,3
1969	35,4	36,3	96,4	242	562	640	(464)	(182)	83,2	92,2	76,4	59,8
1970	48,0	49,1	61,1	(209)	342	350	250	194	100	69,1	61,9	52,7
1971	46,8	38,3	71,2	167	278	436	215	109	73,7	64,1	52,7	45,1
1972	39,8	37,8	41,7	108	221	283	175	105	51,5	59,5	55,1	48,7
1973	38,0	38,7	53,0	203	350	355	166	78,0	51,7	40,7	31,8	30,9
1974	29,7	28,8	41,2	72,2	83,0	105	75,8	53,8	40,6	46,3	36,6	32,3
1975	28,8	28,0	47,5	120	122	230	154	76,8	46,3	32,3	33,6	32,5
1976	28,4	27,9	31,0	181	312	150	147	47,6	31,6	43,0	44,3	33,0
1977	26,5	27,5	52,1	116	165	240	116	67,2	48,2	51,8	61,0	43,0
1978	38,5	36,6	51,2	160	204	237	116	57,7	33,6	30,9	32,6	32,3
1979	29,4	30,6	34,3	313	388	609	336	134	79,3	69,1	53,4	43,3

пределы изменения приточности за каждый месяц года, вегетационный и невегетационный периоды, а также среднее ее значение за 1970 — 1979 гг.

Наибольшее изменение приточности наблюдается в июне, в остальные месяцы летнего полугодия оно не превышает 7,6 м³/с, а в месяцы зимнего полугодия — 5,4 м³/с. В связи с изложенным выше для получения полного притока воды в Андижанское водохранилище необходимо к суммарным средним месячным расходам воды рек Куршаб — п. Кочкор-Ата, Карадарья — п. Узген, Яссы — п. «Выше устья р. Зергер» и р. Зергер — п. Тассай (табл. 3)

Приточность ($\text{м}^3/\text{с}$) на участке р. Яссы от устья р. Зергер до г. Узген

Месяц и сезон	Градация изменения приточности	Средняя приточность за 1970— 1979 гг.	Месяц и сезон	Градация изменения приточности	Средняя приточность за 1970— 1979 гг.
I	7,5—10,7	9,7	VIII	9,5—13,4	11,1
II	7,3—10,5	9,4	IX	9,7—11,3	10,5
III	9,0—14,4	11,1	X	9,9—13,9	11,4
IV	6,3—13,9	10,3	XI	10,1—14,5	11,9
V	9,0—17,0	14,5	XII	8,0—12,5	10,5
VI	3,5—25,4	15,1	IV—IX	10,1—14,7	12,4
VII	9,8—17,1	12,8	X—III	9,6—12,5	10,7

прибавлять приточность в р. Яссы на участке ниже устья р. Зергер.

Для краткости суммарные расходы воды рек Куршаб — п. Кочкор-Ата, Карадарья — п. Узген, Яссы — п. «Выше устья р. Зергер» и р. Зергер — п. Тассай (табл. 3) будем называть притоком в Андижанское водохранилище.

Забор воды из рек в ирригационные каналы

Из р. Карадарья и ее притоков выше Андижанского водохранилища осуществляется забор воды в каналы. Собраны сведения о средних месячных водозаборах с апреля 1960 г. по март 1980 г. (табл. 5).

Средний забор воды за вегетационный период увеличивался с 1960 г. В 1965—1970 гг. он составлял около $30 \text{ м}^3/\text{с}$, а с 1971 по 1979 г. — около $35 \text{ м}^3/\text{с}$. За невегетационный период он был в пределах $2,9—8,8 \text{ м}^3/\text{с}$. Наибольший водозабор приходится на июнь — август, а наименьший — на декабрь — февраль. Максимальный средний месячный водозабор в августе 1979 г. равнялся $52,7 \text{ м}^3/\text{с}$. Если рассматривать водозабор из каждой реки, впадающей в водохранилище, отдельно, то наибольший водозабор осуществляется из р. Куршаб, составляя в месяцы вегетационного периода 44—57% суммарного водозабора из Карадарьи, Тара, Каракульджи, Яссы и Куршаба.

В среднем за вегетационный период водозабор из Куршаба составляет 62%, в невегетационный период — 50% суммарного водозабора, из рек Карадарья, Тар и Каракульджа соответственно 9 и 22%, а из р. Яссы и ее притоков водозабор за вегетационный и невегетационный периоды составляет по 28% суммарного водозабора из всех перечисленных рек.

Поскольку были собраны сведения о средних месячных водозаборах из рек, впадающих в Андижанское водохранилище, только с 1960 г., а за более ранние годы собраны лишь отрывочные данные, то возник вопрос, не осуществлялся ли более значитель-

Суммарный средний месячный забор воды (м³/с) из р. Карадарьи и ее притоков выше Андижанского водохранилища

Год	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1960	—	—	—	3,89	9,52	23,2	27,1	28,5	16,0	8,79	7,22	6,30
1961	3,29	4,82	5,57	7,00	27,5	36,5	27,4	18,5	13,2	8,26	6,56	5,68
1962	3,92	5,96	6,62	17,5	24,3	35,2	37,8	23,8	20,8	8,86	7,27	3,35
1963	7,37	8,28	7,64	12,1	21,4	33,6	48,6	31,2	21,8	12,1	10,1	7,63
1964	5,58	5,55	6,33	10,2	25,2	42,9	51,3	48,1	30,1	10,6	10,7	1,93
1965	4,00	6,05	3,61	14,0	37,0	43,2	44,1	37,3	19,6	13,3	7,0	5,54
1966	4,00	2,16	0,19	6,29	28,6	38,4	45,8	39,8	23,4	12,0	5,75	6,37
1967	3,35	2,90	2,53	12,5	26,2	42,1	42,8	35,4	22,4	7,05	6,27	2,64
1968	2,39	1,55	6,25	9,91	28,6	44,1	47,6	37,6	22,3	11,5	6,07	5,23
1969	1,22	1,09	0	2,89	19,3	35,8	47,5	46,6	20,1	8,43	6,31	4,48
1970	0,94	1,19	2,13	8,19	22,3	35,4	43,7	34,9	13,8	6,23	3,70	3,55
1971	1,02	1,27	1,43	10,0	29,6	49,8	51,5	43,3	25,8	10,3	10,2	9,27
1972	1,46	1,33	0,05	8,67	35,3	47,4	47,0	44,9	20,9	9,24	3,62	3,07
1973	1,66	1,62	2,46	11,0	31,0	45,5	52,5	40,0	20,4	12,0	11,7	7,21
1974	2,71	1,87	3,23	20,1	37,6	51,1	49,9	41,3	24,0	12,7	11,5	5,61
1975	1,72	2,32	4,14	18,9	38,3	46,0	49,1	37,6	21,2	14,9	10,1	3,60
1976	2,56	2,82	4,82	14,2	29,7	44,3	49,5	40,6	25,0	13,5	5,11	3,41
1977	3,20	2,68	6,24	22,5	38,4	34,3	45,5	38,6	23,1	13,1	5,82	2,53
1978	2,04	1,66	3,37	20,0	32,6	44,9	44,6	34,2	21,6	16,1	7,74	4,2
1979	2,64	2,46	5,32	10,8	28,5	47,4	52,3	52,7	27,2	10,4	8,19	4,26
1980	3,13	2,62	4,41	—	—	—	—	—	—	—	—	—

ный водозабор из перечисленных рек в более ранние годы? Для решения этого вопроса была сделана попытка установить время начала нарушения естественного стока рек, впадающих в Андижанское водохранилище, хозяйственной деятельностью людей. Установление начала нарушения естественного режима стока в рассматриваемом створе производилось путем сравнения его со стоком рек-аналогов с естественным режимом. С этой целью строились графические связи последовательно суммированных (интегральных) средних месячных расходов рек Куршаб — п. Гульча, Тар — п. Чолма, Каракульджа — п. Ак-Таш, Яссы — п. Саламалик, Кульдук — п. Сары-Булак, Донгузтау — п. Донгуз-Тау и р. Зергер — п. Тассай, сток которых не изменен хозяйственными мероприятиями, со средними месячными расходами притока воды в водохранилище (табл. 3).

В случаях связанных между собою двух временных рядов интегральная кривая будет показывать случайные колебания рассматриваемых величин по обе стороны от прямой линии, определяющей ее общее направление. Систематическое отклонение точек от прямой будет указывать на нарушение однородности в наблюдениях за стоком.

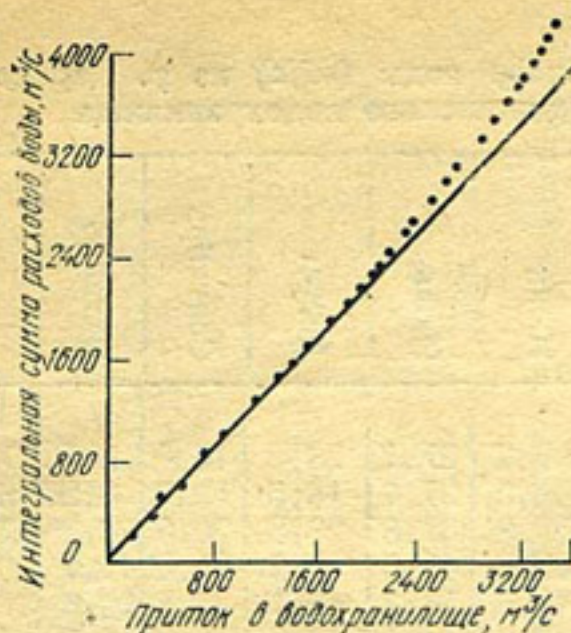


Рис. 2. Связь интегральных сумм расходов за август рек Куршаб — п. Гульча, Тар — п. Чолма, Каракульджа — п. Акташ, Ясы — п. Саламалик, Кульдук — п. Сарыбулак, Донгузтау — п. Донгузтау и Зергер — п. Тассай со средними месячными расходами притока в Андижанское водохранилище. Прямая — линия связи до 1939 г.

Момент, когда произошло изменение направления прямой, принимается за начало нарушения однородности рядов статистических величин. Пример такой зависимости для августа дается на рис. 2. Первая точка, отклонившаяся от прямой, относится к 1959 г. Анализ таких зависимостей показал, что нарушение однородности рядов средних месячных расходов притока воды в Андижанское водохранилище произошло в январе, феврале, марте, июне и октябре 1961 г., в апреле, мае, июле, сентябре, ноябре и декабре 1960 г. и в августе 1959 г. Таким образом, собранные данные о средних месячных заборах воды из рек, впадающих в Андижанское водохранилище, полные и за весь период. Если до 1960 г. водозабор и осуществлялся, то он был невелик и существенного влияния на изменение естественного режима стока не оказывал.

Влияние изъятия стока из рек в каналы на приток в водохранилище

Выше указывалось, что из рек, впадающих в Андижанское водохранилище, осуществляется забор воды, значение которого в среднем за вегетационный период составляет 21% притока. В июле, августе и сентябре, когда наибольшая потребность в поливной воде, водозабор достигает 22—36% притока. В отдельные годы в эти месяцы из рек изымается до 50—70% стока. Это уже существенные величины, поэтому начавшееся с 1960 г. значительное изъятие воды из рек в ирригационные каналы должно привести к тому, что средние месячные расходы притока воды в водохранилище до 1960 г. и после становятся не сравнимыми.

Для оценки влияния водохозяйственных мероприятий на сток рек наибольшее распространение получили методы, во-первых, основанные на анализе рядов наблюдений за стоком в створе реки, выше которого на территории, замыкаемой этим створом, осуществляются водохозяйственные мероприятия, и рек-аналогов с естественным стоком, и, во-вторых, метод водного баланса, учи-

ывающий изменение элементов водного баланса территории под влиянием водохозяйственных мероприятий [2, 7, 8].

Применение метода водного баланса для горных рек Средней Азии ограничивается низкой точностью и отсутствием надежных способов расчета его элементов. Поэтому в наших исследованиях рассматривались средние месячные расходы в пунктах с измененным водохозяйственными мероприятиями режимом и расходы рек-аналогов с естественным стоком. Сделано сравнение средних месячных расходов, высчитанных за 1947—1959 гг., когда водозабора не было, со средними месячными расходами, высчитанными за 1960—1979 гг. Оказалось, что во все месяцы средние месячные расходы, высчитанные за 1960—1979 гг., меньше, чем за 1947—1959 гг., причем в январе — апреле разница между этими расходами небольшая, с мая она увеличивается и наибольшей величины достигает в июне ($67 \text{ м}^3/\text{с}$). Аналогичное сравнение было сделано для всех трех рек, формирующих приток в водохранилище.

Наибольший интерес в этом отношении представляет р. Куршаб. Для нее произведено сравнение средних месячных расходов воды за 1928—1947 гг. и 1970—1979 гг., когда имелись такие наблюдения. Оно показало, что средние месячные расходы воды в январе — апреле в оба эти периода оказались близкими, во все остальные месяцы во второй период они существенно меньше. Так, в мае в первый период средний расход был $46,6 \text{ м}^3/\text{с}$, во второй — $27,4 \text{ м}^3/\text{с}$, в июне соответственно $58,6$ и $39,6 \text{ м}^3/\text{с}$, июле — $45,8 \text{ м}^3/\text{с}$ и $19,1 \text{ м}^3/\text{с}$, августе — $28,6$ и $6,9 \text{ м}^3/\text{с}$, в сентябре соответственно $18,7$ и $5,1 \text{ м}^3/\text{с}$. В июле — сентябре во второй период расходы воды уменьшились по сравнению с первым в $2,4—4,1$ раза. Интересно отметить, что если в первый период (1928—1947 гг.) в р. Куршаб у Кочкор-Аты после прохождения в июне максимального расхода в последующие месяцы до февраля, как и на любой горной реке, отмечался спад, то во втором периоде (1970—1979 гг.) на реке проходит осенне-зимний паводок, как это, например, наблюдается на Сырдарье в пределах Ферганской долины после 40-х годов, за счет поступления в русло реки возвратных вод с полей орошения [2, 7].

Дальнейший анализ данных о суммарных средних месячных водозаборах (табл. 5) показал, что уменьшение средних месячных расходов от первого периода (1947—1959 гг.) ко второму (1960—1979 гг.) превышало суммарный средний месячный водозабор из рек. Чтобы объяснить последнее, были проанализированы суммарные средние месячные расходы воды рек с естественным режимом, т. е. рек Куршаб — п. Гульча, Тар — п. Чолма, Каракульджа — п. Ак-Таш, Яссы — п. Саламалик, Кульдук — п. Сары-Булак, Донгузтау — п. Донгуз-Тау и Зергер — п. Тассай за те же два периода. Анализ показал, что во второй период суммарные средние месячные расходы во все месяцы, кроме мая, июля и августа, оказались близкими к суммарным средним месячным расходам, высчитанным за 1947—1959 гг. В мае, июле

и августе средние месячные расходы во второй период оказались меньше, чем в первый, т. е. в эти месяцы второй период был более маловодным, чем первый. Таким образом, довольно значительная разность между средними месячными расходами притока воды в Андижанское водохранилище за первый и второй периоды в мае, июле и августе обусловлена не только заборами из реки во второй период, но и более низким естественным стоком рек Куршаб, Тар, Каракульджа и Яссы.

Проведенный анализ показал, что средние месячные расходы притока воды в Андижанское водохранилище после 1960 г., когда осуществлялся забор воды из рек, в какой-то мере не сравнимы с расходами до 1960 г.

Для получения сравнимых рядов средних месячных расходов притока в водохранилище строились графические зависимости этих расходов с соответствующими суммарными средними месячными расходами рек Куршаб — п. Гульча, Тар — п. Чолма, Каракульджа — п. Ак-Таш, Яссы — п. Саламалик, Кульдук — п. Сары-Булак, Донгузтау — п. Донгуз-Тау и Зергер — п. Тас-сай. Анализ таких зависимостей показал, что для января, февраля, марта, апреля и декабря не замечено существенных изменений в расположении точек относительно средней линии до 1960 г. и в последующие годы.

На аналогичной зависимости для мая наметилось две линии. Около одной линии расположились точки до 1970 г., точки же последующих лет легли левее, около другой линии, т. е. уменьшение стока произошло с 1971 г. на величину, которую мы определим по расстоянию между этими двумя линиями в направлении оси абсцисс. Оно оказалось равным $20 \text{ м}^3/\text{с}$. Эту величину мы вычли из средних месячных расходов с 1947 по 1970 г. и тем самым получили ряд сравнимых между собою средних месячных расходов за весь период с 1947 по 1979 г. Для июня, июля и августа точки до 1960 г. располагались около линии 1, за 1961—1970 гг. — левее точек предшествующих лет и около линии 2 и за 1971—1979 гг. — еще левее, около линии 3 (рис. 3). Для сентября, октября и ноября на зависимостях наметилось две линии: одна, около которой группировались точки с 1947 по 1960 г.,

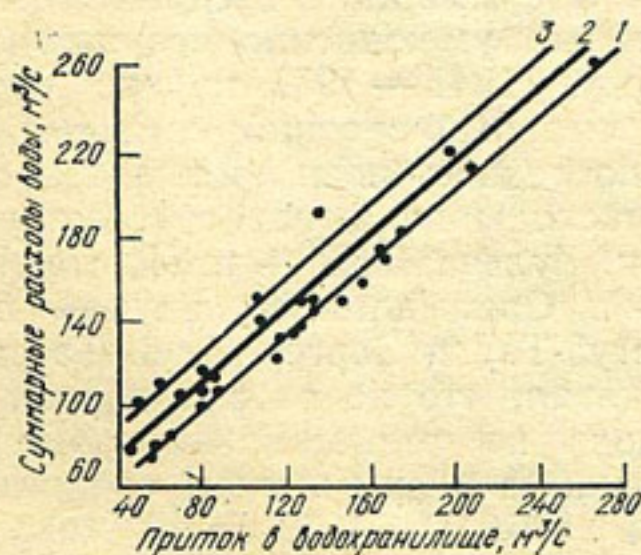


Рис. 3. Связь суммарных средних месячных расходов воды за август рек Яссы — п. Саламалик, Кульдук — п. Сарыбулак, Донгузтау — п. Донгузтау, Каракульджа — п. Ак-Таш, Тар — п. Чолма, Куршаб — п. Гульча с притоком воды в Андижанское водохранилище

Таблица 6

Среднее значение поправок ($\text{м}^3/\text{с}$) для приведения средних месячных расходов притока в Андижанское водохранилище к расходам за 1971—1979 гг.

Период	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
1947—1970	20						
1947—1960		45	45	35	12	15	14
1961—1970		20	20	15			

Таблица 7

Суммарный средний месячный расход воды ($\text{м}^3/\text{с}$) рек Карадарья — п. Узген, Куршаб — п. Кочкор-Ата, Яссы — п. «Выше устья р. Зергер» и Зергер — п. Тассай

Год	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1947	43,2	39,4	49,9	64,3	99,0	95,0	53,8	40,7	38,3	30,4	35,4	39,3
1948	34,7	33,5	39,8	92,5	209	230	272	86,0	51,9	42,7	35,7	44,1
1949	38,7	37,4	47,8	148	296	298	246	119	80,0	54,8	40,6	44,9
1950	41,1	38,2	49,2	61,9	275	203	113	50,0	42,2	30,7	30,0	33,8
1951	32,1	30,7	41,0	79,8	281	204	161	95,0	52,6	74,5	79,4	65,9
1952	51,0	50,5	57,4	306	455	447	320	170	84,7	46,8	36,9	43,7
1953	40,9	42,1	56,2	117	419	394	243	109	70,4	60,1	58,8	66,3
1954	53,0	51,0	73,6	229	247	341	284	228	100	65,9	50,4	52,0
1955	45,7	50,1	76,7	132	335	371	169	137	71,2	48,7	43,3	54,6
1956	45,6	47,8	62,0	169	351	270	231	78,0	60,3	46,0	36,2	41,4
1957	36,2	36,5	49,6	64,8	93,0	218	171	88,0	42,7	39,9	36,1	42,6
1958	37,6	36,8	51,7	253	296	487	380	130	73,4	56,8	40,1	46,9
1959	39,4	38,6	54,9	202	229	282	182	95,0	65,3	45,0	37,2	46,0
1960	41,9	46,4	55,0	136	343	351	219	79,0	45,5	41,4	41,4	43,9
1961	39,0	37,2	52,4	111	174	98,0	69,4	48,0	49,0	44,6	40,7	33,4
1962	29,4	33,6	42,2	46,3	102	135	71,7	54,7	43,8	40,8	37,3	32,4
1963	30,8	36,2	44,7	140	232	257	139	63,1	45,4	47,4	52,4	40,5
1964	30,4	30,5	58,5	149	227	349	265	110	57,4	49,8	41,8	34,2
1965	29,8	29,6	32,5	37,1	71,4	65,3	75,1	45,8	31,9	35,7	46,6	31,9
1966	28,7	37,0	64,4	168	372	541	279	149	86,8	68,6	56,2	49,6
1967	38,5	39,6	51,3	126	196	282	209	90,0	45,7	53,6	48,4	43,8
1968	37,2	33,6	43,1	92,3	194	275	145	68,9	44,1	44,9	46,3	44,3
1969	35,4	36,3	96,4	242	542	620	(444)	167	83,2	92,2	76,4	59,8
1970	48,0	49,1	61,1	(209)	322	330	230	179	100	69,9	61,9	52,7
1971	46,8	38,3	71,2	167	278	436	215	109	73,7	64,1	52,7	45,1
1972	39,8	37,8	41,7	108	221	283	175	105	51,5	59,5	55,1	48,7
1973	38,0	38,7	53,0	203	350	355	166	78,0	51,7	40,7	31,8	30,9
1974	29,7	28,8	41,2	72,2	83,0	105	75,8	53,8	40,6	46,3	36,6	32,3
1975	28,8	28,0	47,5	120	122	230	154	76,8	46,3	32,3	33,6	32,5
1976	28,4	27,9	31,0	181	312	150	147	47,6	31,6	43,0	44,3	33,0
1977	26,5	27,5	52,1	116	165	240	116	67,2	48,2	51,8	61,0	43,0
1978	38,5	36,6	51,2	160	204	237	116	57,7	33,6	30,9	32,6	32,3
1979	29,4	30,6	34,3	313	388	609	336	134	79,3	69,1	53,4	43,3
1980	39,5	38,0	45,6	161	357	263	148	54,6	31,1	24,6	23,7	28,9
1981	24,2	24,1	40,7	138	362	351	223	92,1	62,1	60,4	49,0	46,0
1982	40,0	38,8	51,5	146	154	97,8	111	74,7	45,0	44,0	—	—

и левее вторая линия, проведенная по точкам всех последующих лет. Путем определения расстояния между указанными линиями в направлении оси абсцисс были получены величины поправок (табл. 6), на которые необходимо уменьшить средние месячные расходы за соответствующие периоды, чтобы они были сравнимы с расходами воды за 1971 — 1979 гг.

В табл. 7 даются средние месячные расходы притока воды в Андижанское водохранилище, приведенные вышеуказанным способом к однородному ряду. В этой таблице исключением явились средние месячные расходы за август очень маловодных 1962 и 1965 гг., которые остались без изменения, так как при вычитании из них соответствующей поправки расходы будут меньше расходов самых маловодных 1974 и 1975 гг.

Разработка метода прогноза

В системе гидрометслужбы республик Средней Азии и в Гидрометцентре СССР предварительный прогноз средних расходов воды на вегетационный период (апрель — сентябрь) составляется в первых числах марта и основной — в первых числах апреля. Прогнозы средних расходов на невегетационный период (октябрь — март), кварталы и месяцы составляются за 5 — 10 дней до начала этих периодов. Применительно к этим срокам и разрабатывались методы прогнозов.

Прогнозы средних расходов притока воды на периоды апрель — сентябрь, май — сентябрь, июнь — сентябрь и октябрь — март

Объем стока за вегетационный период определяется главным образом запасами воды в снежном покрове, накопившемся в бассейне реки к началу этого периода. Однако осадки, выпадающие в течение вегетационного периода, особенно в апреле и мае, могут вносить существенные коррективы в снегозапасы и, следовательно, в водность реки этого периода.

Опыт разработки метода долгосрочных прогнозов стока р. Карадарьи и составления этих прогнозов показал, что лучшим индексом снегонакопления в бассейне этой реки, как и других рек Средней Азии, являются осадки, выпадающие в осенне-зимне-весенний период [1, 3, 5].

Распределение осадков в бассейне р. Карадарьи определяется особенностями его сложного и разнообразного рельефа [1, 4 — 6]. Различие прежде всего проявляется в степени увлажнения осадками юго-западных склонов Ферганского хребта и северных склонов Алайского хребта (табл. 8).

Юго-западные склоны Ферганского хребта являются наиболее увлажняемыми во всей Ферганской котловине. Годовые суммы осадков на высотах до 1000 м составляют 500 — 600 мм, на высотах 1200 — 1400 м их суммы увеличиваются до 700 — 800 мм, а

у гребней гор они превышают 1000 мм. Здесь отмечается довольно четкая зависимость увеличения количества осадков за вегетационный (апрель — сентябрь), невегетационный (октябрь — март) периоды и год от высоты местности (рис. 4). Северные склоны Алайского хребта оказываются почти параллельными западному переносу влаги. Ряд внутренних гребней создают дополнительную преграду влажным воздушным массам. Поэтому годовое количество осадков в предгорных и среднегорных частях этого района, как правило, не превышает 500—600 мм, а в закрытых внутригорных районах оно уменьшается до 300 мм. На этих склонах Алайского хребта в зимнее полугодие суммы осадков с высотой местности уменьшаются. В апреле отмечается увеличение осадков с высотой (до высот 1500—1600 м), а в более высоких зонах еще наблюдается уменьшение осадков с высотой, с мая по сентябрь отмечается увеличение осадков с высотой, однако в горах оно происходит менее интенсивно, чем в предгорьях. Если рассматривать осадки за зимнее и летнее полугодия, то в зимнее полугодие отмечается уменьшение осадков с высотой, а в летнее количество осадков с высотой увеличивается, но в предгорьях более интенсивно, чем в горах (рис. 4).

Внутригодовое распределение осадков на юго-западных склонах Ферганского хребта и северных склонах Алайского хребта

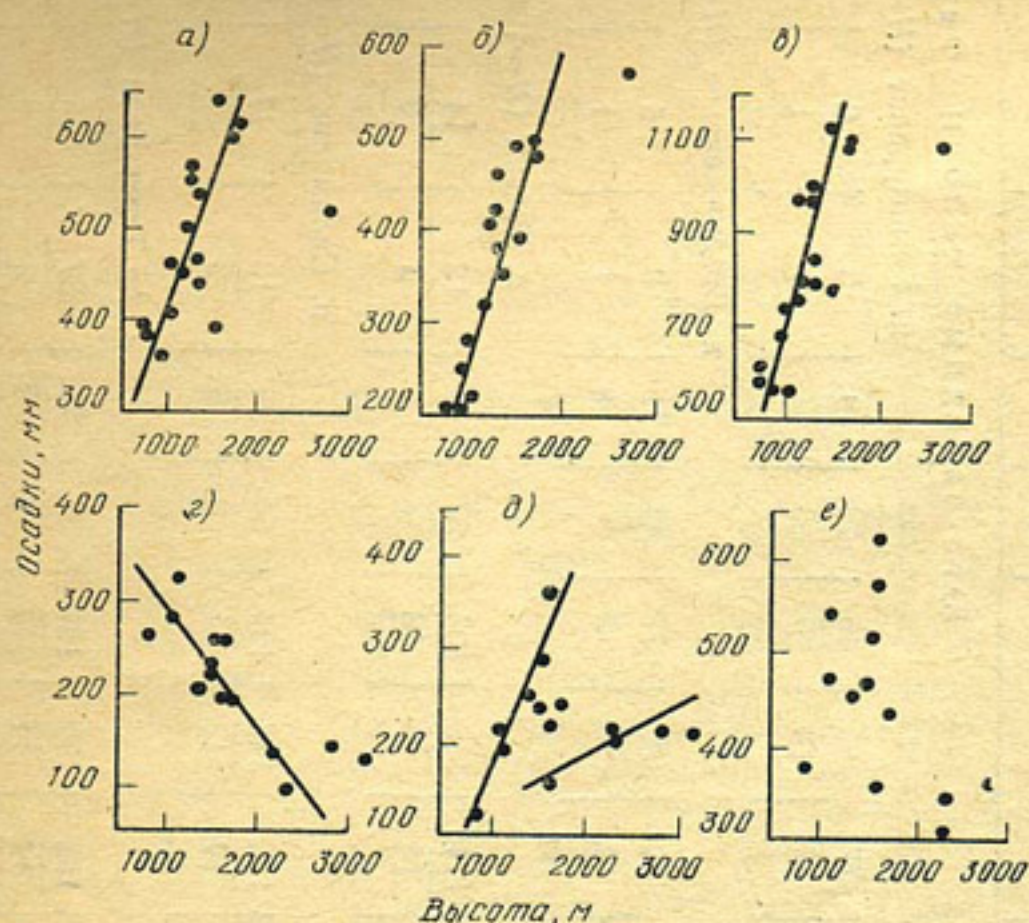


Рис. 4. Зависимость сумм осадков от высоты местности за октябрь — март (а, г), апрель — сентябрь (б, д) и гидрологический год (в, е) в бассейне р. Карадарья для юго-западных склонов Ферганского хребта (а, б, в), северных склонов Алайского хребта (г, д, е)

Многолетнее среднее распределение осадков по месяцам

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	X—III	IV—IX	Год
Юго-западные склоны Ферганского хребта														
п. Кампырват ($H=812$ м)														
$38 \frac{9}{9}$	$51 \frac{12}{12}$	$77 \frac{17}{17}$	$60 \frac{14}{14}$	$46 \frac{10}{10}$	$22 \frac{5}{5}$	$10 \frac{2}{2}$	$5 \frac{1}{1}$	$6 \frac{1}{1}$	$35 \frac{8}{8}$	$52 \frac{12}{12}$	$41 \frac{9}{9}$	$294 \frac{67}{67}$	$149 \frac{33}{33}$	$443 \frac{—}{—}$
п. Воздвиженское ($H=1023$ м)														
$51 \frac{8}{8}$	$60 \frac{10}{10}$	$90 \frac{14}{14}$	$82 \frac{13}{13}$	$77 \frac{12}{12}$	$40 \frac{7}{7}$	$24 \frac{4}{4}$	$9 \frac{1}{1}$	$5 \frac{1}{1}$	$56 \frac{9}{9}$	$71 \frac{11}{11}$	$60 \frac{10}{10}$	$388 \frac{62}{62}$	$237 \frac{38}{38}$	$625 \frac{—}{—}$
п. Тассай ($H=1244$ м)														
$52 \frac{7}{7}$	$71 \frac{9}{9}$	$111 \frac{14}{14}$	$118 \frac{15}{15}$	$104 \frac{13}{13}$	$57 \frac{7}{7}$	$25 \frac{3}{3}$	$12 \frac{2}{2}$	$14 \frac{2}{2}$	$70 \frac{9}{9}$	$84 \frac{11}{11}$	$64 \frac{8}{8}$	$452 \frac{58}{58}$	$330 \frac{42}{42}$	$782 \frac{—}{—}$
п. Саламалик ($H=1289$ м)														
$44 \frac{5}{5}$	$69 \frac{8}{8}$	$113 \frac{14}{14}$	$145 \frac{17}{17}$	$124 \frac{15}{15}$	$64 \frac{8}{8}$	$28 \frac{3}{3}$	$13 \frac{2}{2}$	$17 \frac{2}{2}$	$78 \frac{9}{9}$	$81 \frac{10}{10}$	$58 \frac{7}{7}$	$443 \frac{53}{53}$	$391 \frac{47}{47}$	$834 \frac{—}{—}$
п. Ак-Терек-Гава ($H=1748$ м)														
$68 \frac{7}{7}$	$79 \frac{8}{8}$	$128 \frac{14}{14}$	$132 \frac{14}{14}$	$124 \frac{13}{13}$	$80 \frac{8}{8}$	$47 \frac{5}{5}$	$27 \frac{3}{3}$	$25 \frac{3}{3}$	$97 \frac{10}{10}$	$79 \frac{8}{8}$	$68 \frac{7}{7}$	$519 \frac{54}{54}$	$435 \frac{46}{46}$	$954 \frac{—}{—}$
п. Чаарташ ($H=2748$ м)														
$61 \frac{6}{6}$	$87 \frac{8}{8}$	$117 \frac{11}{11}$	$152 \frac{15}{15}$	$182 \frac{18}{18}$	$84 \frac{8}{8}$	$49 \frac{5}{5}$	$28 \frac{2}{2}$	$42 \frac{4}{4}$	$90 \frac{9}{9}$	$80 \frac{8}{8}$	$61 \frac{6}{6}$	$496 \frac{48}{48}$	$537 \frac{52}{52}$	$1033 \frac{—}{—}$

Северные склоны Алайского хребта

п. Ош ($H=1016$ м)

$\frac{32}{10}$	$\frac{31}{9}$	$\frac{50}{15}$	$\frac{48}{14}$	$\frac{45}{13}$	$\frac{22}{6}$	$\frac{11}{3}$	$\frac{5}{2}$	$\frac{6}{2}$	$\frac{23}{7}$	$\frac{33}{10}$	$\frac{31}{9}$	$\frac{200}{60}$	$\frac{137}{40}$	$\frac{337}{-}$
-----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	----------------	----------------	---------------	---------------	----------------	-----------------	----------------	------------------	------------------	-----------------

п. Тулекен ($H=1118$ м)

$\frac{29}{7}$	$\frac{38}{10}$	$\frac{64}{16}$	$\frac{57}{15}$	$\frac{52}{13}$	$\frac{29}{7}$	$\frac{13}{3}$	$\frac{6}{2}$	$\frac{7}{2}$	$\frac{33}{8}$	$\frac{41}{10}$	$\frac{27}{7}$	$\frac{232}{58}$	$\frac{164}{42}$	$\frac{396}{-}$
----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	----------------	----------------	---------------	---------------	----------------	-----------------	----------------	------------------	------------------	-----------------

п. Гульча ($H=1542$ м)

$\frac{23}{5}$	$\frac{34}{7}$	$\frac{49}{11}$	$\frac{67}{14}$	$\frac{78}{17}$	$\frac{55}{12}$	$\frac{30}{6}$	$\frac{14}{3}$	$\frac{12}{3}$	$\frac{34}{7}$	$\frac{39}{9}$	$\frac{28}{6}$	$\frac{207}{45}$	$\frac{256}{55}$	$\frac{463}{-}$
----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	------------------	------------------	-----------------

п. Шанкол ($H=1662$ м)

$\frac{23}{4}$	$\frac{33}{6}$	$\frac{69}{13}$	$\frac{91}{18}$	$\frac{93}{18}$	$\frac{52}{10}$	$\frac{25}{5}$	$\frac{14}{3}$	$\frac{12}{2}$	$\frac{44}{9}$	$\frac{40}{8}$	$\frac{23}{4}$	$\frac{232}{44}$	$\frac{287}{56}$	$\frac{519}{-}$
----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	------------------	------------------	-----------------

п. Киргиз-Ата ($H=1766$ м)

$\frac{19}{4}$	$\frac{25}{6}$	$\frac{56}{13}$	$\frac{66}{16}$	$\frac{82}{20}$	$\frac{45}{11}$	$\frac{24}{6}$	$\frac{13}{3}$	$\frac{11}{3}$	$\frac{31}{7}$	$\frac{30}{7}$	$\frac{17}{4}$	$\frac{178}{41}$	$\frac{241}{59}$	$\frac{419}{-}$
----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	------------------	------------------	-----------------

п. Кызыл-Джар ($H=2230$ м)

$\frac{18}{5}$	$\frac{24}{7}$	$\frac{25}{8}$	$\frac{40}{12}$	$\frac{53}{16}$	$\frac{44}{13}$	$\frac{28}{8}$	$\frac{16}{5}$	$\frac{13}{4}$	$\frac{21}{6}$	$\frac{26}{8}$	$\frac{22}{7}$	$\frac{136}{41}$	$\frac{194}{59}$	$\frac{330}{-}$
----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	------------------	------------------	-----------------

п. Кичик-Алай ($H=2360$ м)

$\frac{9}{3}$	$\frac{13}{5}$	$\frac{22}{8}$	$\frac{34}{12}$	$\frac{59}{21}$	$\frac{38}{13}$	$\frac{32}{11}$	$\frac{19}{7}$	$\frac{17}{6}$	$\frac{19}{7}$	$\frac{14}{5}$	$\frac{9}{3}$	$\frac{86}{30}$	$\frac{199}{70}$	$\frac{285}{-}$
---------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	---------------	-----------------	------------------	-----------------

Примечание. Числитель — в мм, знаменатель — % от годовой.

примерно одинаковое и характеризуется двумя максимумами, весенним и осенним.

Весенний максимум на высотах до 1000 м приходится на март; с повышением высоты максимум сдвигается на более позднее время, и на высотах, превышающих 2000 м, он приходится на май. Осенний максимум осадков на всех высотах приходится на октябрь — ноябрь, по величине он меньше весеннего и с высотой несколько сглаживается. Наименьшее количество осадков выпадает в августе — сентябре (табл. 8).

Из-за различия в увлажнении юго-западных склонов Ферганского хребта и северных склонов Алайского хребта водность рек, стекающих с юго-западных склонов Ферганского хребта, существенно выше водности рек, стекающих с северных склонов Алайского хребта. Так, средний годовой модуль стока р. Каракульджа, стекающей с юго-западных склонов Ферганского хребта, с открытой на запад долиной, равен 23,5 л/с/км², а р. Тара, бассейн которой затенен высокими горными образованиями, только 12,2 л/с/км². Кроме того, в многолетних колебаниях стока составляющих и притоков р. Карадарья имеет место некоторая асинхронность, обусловленная разнообразием в распределении осадков по территории бассейна. Так, в 1980/81 гидрологическом году на северных склонах Алайского хребта осадки составили 120—135% нормы, а на юго-западных склонах Ферганского хребта они были в пределах 72—104%. Сток же за вегетационный период 1981 г. в р. Куршаб составил 125%, Тар —

Таблица 9

Многолетний средний месячный расход притоков р. Карадарья
(в долях от их суммы)

Река, пункт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Куршаб — Кочкор-Ата	0,28	0,29	0,26	0,12	0,10	0,12	0,10	0,06
Тар — Чалма	0,43	0,41	0,34	0,27	0,35	0,47	0,55	0,64
Каракульджа — Акташ	0,18	0,18	0,16	0,15	0,18	0,20	0,26	0,26
Яссы — «Выше устья р. Зергер»+Зергер — Тассай	0,10	0,12	0,24	0,46	0,36	0,20	0,09	0,04

Река, пункт	IX	X	XI	XII	IV—IX	V—IX	VI—IX	IV—VI
Куршаб — Кочкор-Ата	0,08	0,17	0,20	0,25	0,12	0,09	0,09	0,12
Тар — Чалма	0,61	0,52	0,46	0,45	0,43	0,53	0,57	0,36
Каракульджа — Акташ	0,25	0,21	0,19	0,19	0,20	0,23	0,24	0,18
Яссы — «Выше устья р. Зергер»+Зергер — Тассай	0,06	0,11	0,15	0,12	0,25	0,15	0,10	0,34

143% нормы, рек Каракульджа и Яссы соответственно 108 и 107%.

Все сказанное указывает на то, что для прогнозов пункты наблюдений за осадками необходимо выбирать таким образом, чтобы по ним можно было судить об увлажнении всего бассейна. При выборе таких станций и постов учитывалась продолжительность периода наблюдений за осадками и регулярность поступления информации об осадках в службу гидрологических прогнозов. Такими станциями и постами оказались Саламалик (С), Донгуз-Тау (Д), Тассай (Т) и Ак-Терек-Гава (А) на юго-западных склонах Ферганского хребта, станции Кызылджар (К) и Гульча (Г) — на северных склонах Алайского хребта, первая — в бассейне р. Тар, вторая — в бассейне р. Куршаб.

Различие в увлажнении осадками бассейнов основных четырех составляющих р. Карадарьи учитывалось при этом величиной доли стока каждой из этих рек в общем стоке (табл. 9). Осадки суммировались за период с первого октября по день составления прогноза и выражались в модульных коэффициентах, т. е. отношением их к норме.

Для предварительного прогноза среднего расхода притока воды на вегетационный период получено уравнение

$$Q_{\text{вер}} = 161 x_{X-II}^I + 170, \quad (5)$$

где

$$x_{X-II}^I = 0,12 \frac{x_{X-II}}{\bar{x}_{X-II}} \Gamma + 0,43 \frac{x_{X-II}}{\bar{x}_{X-II}} K + 0,45 \frac{1}{4} \sum \frac{x_{X-II}}{\bar{x}_{X-II}} C_1 D_1 T_1 A.$$

Здесь x_{X-II} — сумма осадков с октября по февраль; $\bar{x}_{X-II}$ — норма этих осадков; коэффициенты при осадках — доли стока каждой из четырех составляющих р. Карадарьи в общем стоке за вегетационный период. При третьем слагаемом взята сумма долей стока рек Каракульджа и Яссы, так как увлажнение этих бассейнов характеризуется осадками одних и тех же дождемерных постов Саламалик, Донгуз-Тау, Тассай и Ак-Терек-Гава, при этом осадки по этим четырем пунктам взяты как среднее арифметическое значение.

После подстановки значения x_{X-II}^I в уравнение (5) оно будет

$$Q_{\text{вер}} = 19,3 \frac{x_{X-II}}{\bar{x}_{X-II}} \Gamma + 69,2 \frac{x_{X-II}}{\bar{x}_{X-II}} K + 18,1 \sum \frac{x_{X-II}}{\bar{x}_{X-II}} C_1 D_1 T_1 A + 17,0. \quad (6)$$

Теснота зависимости (6) характеризуется коэффициентом корреляции $r=0,778$; отношение средней арифметической погрешности поверочных прогнозов (S) к среднему квадратическому отклонению от нормы (σ) равно 0,70.

Для основного прогноза среднего расхода притока воды на вегетационный период, составляемого в первых числах апреля, получено уравнение

$$Q_{\text{вер}} = 179 x_{X-III}^I - 0,2,$$

или

$$Q_{\text{вер}} = 21,5 \frac{x_{X-III}}{\bar{x}_{X-III}} \Gamma + 77,0 \frac{x_{X-III}}{\bar{x}_{X-III}} K + 20,1 \sum \frac{x_{X-III}}{\bar{x}_{X-III}} C_1 D_1 \Gamma_1 A - 0,2, \quad (7)$$

где x_{X-III} — суммы осадков за октябрь — март, $\bar{x}_{X-III}$ — их норма. Для этой зависимости $r=0,814$, а $S/\sigma=0,60$.

Рассчитанные по уравнениям (6) и (7) средние расходы за вегетационный период 1979 г. оказались существенно меньше фактических.

За период с октября по март 1978—1979 гг. в бассейне р. Карадарьи суммы осадков составили 70—100% нормы, а в апреле они были рекордными за весь период наблюдений, превысив апрельские нормы в 2,6—6,4 раза, а суммы осадков за предшествующий октябрь — март — в полтора-два раза. Если в уравнении (7) учесть осадки апреля, то теснота его значительно повышается, коэффициент корреляции $r=0,922$ и $S/\sigma=0,39$. В такие годы или в годы, когда после сравнительно многоснежной зимы апрель и май бывают сухими или когда в апреле и мае в горах бывает тепло и значительная часть снеготопливных запасов расходуется в эти месяцы, половодье сдвигается на более ранние сроки и водность в последующую часть вегетационного периода бывает пониженной, требуется составлять прогнозы на оставшуюся часть вегетационного периода.

Для прогноза среднего расхода воды на май — сентябрь получено уравнение

$$Q_{V-IX} = 198x_{X-IV}^I - 12,8,$$

или

$$Q_{V-IX} = 17,8 \frac{x_{X-IV}}{\bar{x}_{X-IV}} \Gamma + 105 \frac{x_{X-IV}}{\bar{x}_{X-IV}} K + 18,8 \sum \frac{x_{X-IV}}{\bar{x}_{X-IV}} C_1 D_1 \Gamma_1 A - 12,8. \quad (8)$$

Для этого уравнения $r=0,916$ и $S/\sigma=0,41$.

В апреле и особенно в мае часть снеготопливных запасов в зависимости от температуры воздуха расходуется на испарение, поэтому в уравнении для прогноза среднего расхода притока воды на июнь — сентябрь, кроме суммы осадков с октября по май, в качестве второго предиктора взята средняя температура воздуха за апрель и май по гидрометстанции Кызылджар

$$Q_{VI-IX} = 188x'_1 - 93,7x'_2 + 74,$$

или

$$Q_{IV-IX} = 16,9 \frac{x_{X-V}}{\bar{x}_{X-V}} \Gamma + 107 \frac{x_{X-V}}{\bar{x}_{X-V}} K + 16,0 \sum \frac{x_{X-V}}{\bar{x}_{X-V}} C_1 D_1 \Gamma_1 A - 93,7 \frac{\theta_{IV-V}}{\theta_{IV-V}} K + 74, \quad (9)$$

где θ_{IV-V} — средняя температура воздуха за апрель — май по гидрометстанции Кызылджар, $\bar{Q}_{IV-V}$ — ее норма. Вклад первого предиктора $\Delta_1 = 0,748$, второго $\Delta_2 = 0,252$; $r_{yx_1} = 0,886$, $r_{yx_2} = -0,599$, $r_{x_1x_2} = -0,517$; общий коэффициент корреляции $R = 0,901$, а $S/\sigma = 0,44$.

Сток реки в невегетационный период формируется в основном за счет поступления в русло подземных вод, поэтому и зависимость для прогноза стока за этот период должна основываться на связи с расходами за некоторый предшествующий период. Так оно и получилось: лучшей, хотя и недостаточно тесной, оказалась зависимость со средним расходом притока воды за сентябрь. Уравнение ее

$$Q_{X-III} = 0,295 Q_{IX} + 26,7. \quad (10)$$

Коэффициент корреляции $r = 0,636$ и $S/\sigma = 0,70$.

Обильные осадки, выпадающие особенно в октябре, ноябре и марте на части площади бассейна в жидком виде, могут существенно влиять на величину стока этого периода. Так, исключительно большие осадки в октябре и ноябре 1951 г. сформировали на Карадарье и ее притоках значительные дождевые паводки, повысили уровень подземных вод, поэтому сток был большим не только в октябре и ноябре. В последующие месяцы меженионного периода он был близким к наибольшему, а средний расход за октябрь — март 1951 — 1952 гг. оказался рекордно высоким.

Прогнозы средних расходов притока воды на кварталы

В первом квартале р. Карадарья практически находится в состоянии межени; отмечающееся увеличение расходов воды в периоды оттепелей и во второй половине марта за счет таяния снега обычно бывает небольшим. Поэтому зависимость для прогноза среднего расхода воды на этот квартал, как и период октябрь — март, основана на гидрологической инерции, т. е. на связи этого расхода за некоторый предшествующий период. Получено следующее уравнение:

$$Q_{I_{KB}} = 0,710 Q_{XII} + 11,7, \quad (11)$$

где Q_{XII} — средний расход притока за декабрь, $r = 0,867$ и $S/\sigma = 0,55$.

Сток за второй квартал в основном определяется снегозапасами, накопившимися в бассейне реки к началу этого периода. Однако значительное влияние на формирование стока этого квартала могут оказывать сопутствующие осадки и температура воздуха. Для прогноза притока на второй квартал получено уравнение, аналогичное уравнению для прогноза среднего расхода на вегетационный период, с той разницей, что осадки взяты с 1 октября по 20 марта и доли стока при них соответствуют долям стока каждой из рек в общем стоке этого периода

$$Q_{2KB} = 226 x'_{X-20III} + 30,$$

или

$$Q_{2\text{кв}} = 27,1 \frac{x_{X-20\text{III}}}{\bar{x}_{X-20\text{III}}} r + 81,4 \frac{x_{X-20\text{III}}}{\bar{x}_{X-20\text{III}}} K + 39,2 \sum \frac{x_{X-20\text{III}}}{\bar{x}_{X-20\text{III}}} C_1 D_1 A + 3,0; \quad (12)$$

$$r = 0,725, \quad S/\sigma = 0,70.$$

Здесь $x_{X-20\text{III}}$ — суммы осадков с 1 октября по 20 марта, $\bar{x}_{X-20\text{III}}$ — их нормы.

В апреле — июне таяние снега происходит во всех высотных зонах водосбора р. Карадарьи, поэтому к началу третьего квартала значительная часть снеготопливов уже израсходована, на открытых и особенно южных склонах гор снежный покров может отсутствовать вообще. Но в глубоких ущельях и долинах сохраняются еще мощные скопления снега, так называемые снежники. Однако из-за отсутствия наблюдений оценивать эти оставшиеся снеготопливы приходится косвенным путем, учитывая осадки с 1 октября до момента составления прогноза или расходы воды в реке и температуры воздуха за некоторый предшествующий период [1, 3].

Так, для прогноза среднего расхода притока воды на третий квартал получена зависимость

$$Q_{3\text{кв}} = 2,6 \frac{\sum Q_{V-20VI}}{\bar{\theta}_{V-20VI} K - 5} - 4,0, \quad (13)$$

где $\sum Q_{V-20VI}$ — сумма средних расходов воды за три декады мая и две декады июня по рекам Куршаб — п. Гульча, Тар — п. Чолма, Каракульджа — п. Ак-Таш и Яссы — п. Саламалик; $\bar{\theta}_{V-20VI}$ — средняя температура воздуха из средних суточных наблюдений за тот же период по гидрометстанции Кызылджар; $r = 0,891$, $S/\sigma = 0,50$.

Для прогноза среднего расхода притока воды на четвертый квартал предиктором в уравнении является средний расход притока за сентябрь

$$Q_{4\text{кв}} = 0,350 Q_{IX} + 24,6; \quad (14)$$
$$r = 0,611, \quad S/\sigma = 0,80.$$

Прогнозы средних месячных расходов притока воды

Если объем стока за вегетационный период зависит главным образом от сезонных запасов снега, то распределение стока по месяцам этого периода в значительной степени определяется распределением запасов сезонного снега по высотным зонам, термическими условиями таяния этого снега на разных высотах, а также выпадением жидких осадков в период таяния снега. В этом отношении прогнозы стока на отдельные месяцы вегетационного периода представляют большие трудности, чем прогноз стока на вегетационный период. В начале вегетационного периода таяние

снега происходит в нижних зонах водосбора, затем фронт снеготаяния продвигается в более высокие зоны, и в июне снеготаяние происходит во всех основных стокообразующих зонах бассейна. Поэтому для прогнозов средних расходов воды на апрель и май основным предиктором явились суммы осадков с первого октября по день составления прогноза, т. е. уравнения имеют вид, аналогичный уравнениям для прогноза стока на вегетационный период и второй квартал,

$$Q_{IV} = 150 x'_{X-20III} - 6,0,$$

или

$$Q_{IV} = 18,0 \frac{x_{X-20III}}{x_{X-20III}} \Gamma + 40,5 \frac{x_{X-20III}}{x_{X-20III}} K + 55,6 \sum \frac{x_{X-20IV}}{x_{X-20IV}} C_1 D_1 A - 47,0; \quad (15)$$

$$r = 0,657, \quad S/\sigma = 0,73.$$

Уравнение для прогноза среднего расхода на май имеет вид

$$Q_V = 303 x'_{X-20IV} - 47,0,$$

или

$$Q_V = 30,3 \frac{x_{X-20IV}}{x_{X-20IV}} \Gamma + 106 \frac{x_{X-20IV}}{x_{X-20IV}} K + 55,6 \sum \frac{x_{X-20IV}}{x_{X-20IV}} C_1 D_1 A - 47,0; \quad (16)$$

$$r = 0,809, \quad S/\sigma = 0,59.$$

В уравнениях для прогнозов средних расходов воды на вегетационный период, май — сентябрь, июнь — сентябрь, второй квартал, апрель и май делалась попытка использовать в качестве второго предиктора средние расходы за предыдущие месяцы или минимальный средний месячный расход меженного периода. Однако это не привело к заметному повышению тесноты зависимости. Так, в уравнении для основного прогноза среднего расхода притока воды на вегетационный период (7) учет среднего расхода за март повысил общий коэффициент корреляции до 0,815. Вклад его в уравнение регрессии (0,031) против вклада основного предиктора (0,969) очень мал.

В уравнении для прогноза среднего расхода притока воды на июнь в качестве предикторов вошли осадки за период с октября по 20 мая и температура воздуха за апрель и две декады мая

$$Q_{VI} = 348 x'_1 - 190 x'_2 + 151,$$

или

$$Q_{VI} = 45,2 \frac{x_{X-20V}}{x_{X-20V}} \Gamma + 164 \frac{x_{X-20V}}{x_{X-20V}} K + 46,4 \sum \frac{x_{X-20V}}{x_{X-20V}} C_1 D_1 A - \\ - 190 \frac{\theta_{IV-20V}}{\theta_{IV-20V}} K + 151, \quad (17)$$

где θ_{IV-20V} — средняя температура воздуха за три декады апреля и две декады мая по гидрометстанции Кызылджар, $\bar{\theta}_{IV-20V}$ — ее норма. Вклад первого предиктора $\Delta_1=0,728$, второго $\Delta_2=0,272$; $r_{yx_1}=0,871$, $r_{yx_2}=-0,597$, $r_{x_1x_2}=-0,494$ и $R=0,892$, $S/\sigma=0,47$.

Для прогнозов средних расходов притока воды на июль и август получены уравнения, аналогичные уравнению для прогноза среднего расхода притока на третий квартал (13), а именно:

$$Q_{VII} = 5,14 \frac{\sum Q_{V-20VI}}{\theta_{V-20VI} K - 5} - 39,9, \quad (18)$$

где $\sum \theta_{V-20VI}$ — сумма средних расходов воды за три декады мая и две декады июня по рекам Куршаб — п. Гульча, Тар — п. Чолма, Каракульдж — п. Ак-Таш и Яссы — п. Саламалик; $\theta_{V-20VI} K$ — средняя температура воздуха за тот же период по гидрометстанции Кызылджар; $r=0,920$ и $S/\sigma=0,44$.

Для августа — уравнение

$$Q_{VIII} = 3,34 \frac{\sum Q_{VI-20VII}}{\theta_{VI-20VII} K - 5} - 7,0. \quad (19)$$

Здесь средний расход и температура воздуха взяты за три декады июня и две декады июля по тем же пунктам; $r=0,916$ и $S/\sigma=0,45$.

С сентября река переходит в состояние межени и питается главным образом подземными водами, поэтому в уравнениях для прогнозов средних месячных расходов с сентября по февраль предикторами являются расходы притока воды за некоторые предшествующие периоды:

$$Q_{IX} = 0,396 Q_{VIII} + 17,9, \quad r = 0,934, \quad S/\sigma = 0,43; \quad (20)$$

$$Q_X = 0,524 Q_{IX} + 17,4, \quad r = 0,718, \quad S/\sigma = 0,72; \quad (21)$$

$$Q_{XI} = 0,716 Q_X + 9,4, \quad r = 0,847, \quad S/\sigma = 0,55; \quad (22)$$

$$Q_{XII} = 0,631 Q_{XI} + 15,7, \quad r = 0,796, \quad S/\sigma = 0,73; \quad (23)$$

$$Q_I = 0,705 Q_{XII} + 6,7, \quad r = 0,958, \quad S/\sigma = 0,29; \quad (24)$$

$$Q_{II} = 0,873 Q_I + 4,8, \quad r = 0,904, \quad S/\sigma = 0,44. \quad (25)$$

Во второй половине марта на реке начинается половодье, поэтому связи среднего расхода воды за март с расходами за предыдущие периоды оказались слабыми. Слабой оказалась связь и с осадками за предшествующий период (октябрь — февраль). Наиболее тесной получена связь с максимальной водностью снега из наблюдений в конце января, февраля и марта, средней из показаний снегопунктов № 24, 27 — 31 в бассейне р. Тара ($r=0,779$, $S/\sigma=0,62$). Однако при составлении прогноза среднего расхода воды на март в принятые сроки отсутствовали бы данные о запасах воды в снеге на конец февраля и марта. Поэтому эта зависимость не может быть использована в оперативной работе. В результате дополнительных поисков получено уравнение

$$Q_{III} = 0,612x_1 + 0,101x_2 + 17,0, \quad (26)$$

Уравнение для прогноза распределения стока по месяцам вегетационного периода апрель — сентябрь и май — сентябрь

Уравнение	Количество лет	r	S/σ
Апрель — сентябрь			
$Q_{IV} = 18,0 \frac{x_{X-III}}{\bar{x}_{X-III}} \Gamma + 40,5 \frac{x_{X-III}}{\bar{x}_{X-III}} K +$ $+ 22,9 \Sigma \frac{x_{X-III}}{\bar{x}_{X-III}} C_1 D_1 \Gamma_1 A - 3,6$	33	0,668	0,76
$Q_V = 26,2 \frac{x_{X-III}}{\bar{x}_{X-III}} \Gamma + 91,7 \frac{x_{X-III}}{\bar{x}_{X-III}} K +$ $+ 36,0 \Sigma \frac{x_{X-III}}{\bar{x}_{X-III}} C_1 D_1 \Gamma_1 A - 4,6$	33	0,736	0,66
$Q_{VI} = 36,7 \frac{x_{X-III}}{\bar{x}_{X-III}} \Gamma + 147 \frac{x_{X-III}}{\bar{x}_{X-III}} K +$ $+ 30,6 \Sigma \frac{x_{X-III}}{\bar{x}_{X-III}} C_1 D_1 \Gamma_1 A - 2,2$	33	0,721	0,73
$Q_{VII} = 20,3 \frac{x_{X-III}}{\bar{x}_{X-III}} \Gamma + 112 \frac{x_{X-III}}{\bar{x}_{X-III}} K +$ $+ 12,7 \Sigma \frac{x_{X-III}}{\bar{x}_{X-III}} C_1 D_1 \Gamma_1 A - 0,6$	33	0,745	0,68
$Q_{VIII} = 5,7 \frac{x_{X-III}}{\bar{x}_{X-III}} \Gamma + 60,5 \frac{x_{X-III}}{\bar{x}_{X-III}} K +$ $+ 7,1 \Sigma \frac{x_{X-III}}{\bar{x}_{X-III}} C_1 D_1 \Gamma_1 A + 7,8$	33	0,748	0,69
$Q_{IX} = 3,5 \frac{x_{X-III}}{\bar{x}_{X-III}} \Gamma + 26,4 \frac{x_{X-III}}{\bar{x}_{X-III}} K +$ $+ 3,3 \Sigma \frac{x_{X-III}}{\bar{x}_{X-III}} C_1 D_1 \Gamma_1 A + 15,2$	33	0,795	0,73

Май — сентябрь

$Q_V = 24,3 \frac{x_{X-IV}}{\bar{x}_{X-IV}} \Gamma + 85,0 \frac{x_{X-IV}}{\bar{x}_{X-IV}} K +$ $+ 33,4 \Sigma \frac{x_{X-IV}}{\bar{x}_{X-IV}} C_1 D_1 \Gamma_1 A + 26,0$	33	0,774	0,60
--	----	-------	------

Уравнение	Количество лет	r	S/σ
$Q_{VI} = 42,7 \frac{x_{X-IV}}{\bar{x}_{X-IV}} \Gamma + 171 \frac{x_{X-IV}}{\bar{x}_{X-IV}} K +$ $+ 36,6 \sum \frac{x_{X-IV}}{\bar{x}_{X-IV}} C_1 D_1 \Gamma_1 A - 53$	33	0,860	0,54
$Q_{VII} = 24,3 \frac{x_{X-IV}}{\bar{x}_{X-IV}} \Gamma + 134 \frac{x_{X-IV}}{\bar{x}_{X-IV}} K +$ $+ 21,3 \sum \frac{x_{X-IV}}{\bar{x}_{X-IV}} C_1 D_1 \Gamma_1 A - 41,3$	33	0,900	0,46
$Q_{VIII} = 5,5 \frac{x_{X-IV}}{\bar{x}_{X-IV}} \Gamma + 58,3 \frac{x_{X-IV}}{\bar{x}_{X-IV}} K +$ $+ 6,8 \sum \frac{x_{X-IV}}{\bar{x}_{X-IV}} C_1 D_1 \Gamma_1 A + 11,0$	33	0,738	0,72
$Q_{IX} = 3,2 \frac{x_{X-IV}}{\bar{x}_{X-IV}} \Gamma + 24,3 \frac{x_{X-IV}}{\bar{x}_{X-IV}} K +$ $+ 3,1 \sum \frac{x_{X-IV}}{\bar{x}_{X-IV}} C_1 D_1 \Gamma_1 A + 18,4$	33	0,724	0,70

где x_1 — средний расход притока воды за январь; x_2 — сумма запасов воды в снеге на конец января (средняя по снегопунктам № 24, 27—31) и полусуммы осадков за февраль по гидрометстанциям Саламалик и Донгуз-Тау, т. е.

$$Q_{III} = 0,612 Q_I + 0,101 W_1 + 0,050 \sum x_{II} C_1 D + 17,0, \quad (27)$$

где W_1 — запас воды в снеге в конце января, x_{II} — сумма осадков за февраль. Коэффициент корреляции с первым предиктором $r_{yx_1} = 0,637$, со вторым $r_{yx_2} = 0,653$, между предикторами $r_{x_1 x_2} = 0,599$, общий коэффициент корреляции $R = 0,722$ и $S/\sigma = 0,74$. Вклад первого предиктора $\Delta_1 = 0,855$ и второго $\Delta_2 = 0,145$.

**Прогнозы распределения стока по месяцам периодов
апрель — сентябрь, май — сентябрь и июнь — сентябрь**

В условиях орошаемого земледелия для планирования графика эксплуатации водохранилища нередко требуются прогнозы распределения стока по месяцам вегетационного периода, а при составлении прогнозов средних расходов притока воды на май — сентябрь и июнь — сентябрь и прогнозы распределения стока по месяцам этих периодов. Для прогноза распределения стока получены уравнения, приведенные в табл. 10. Предикторами в эти

Уравнение для прогнозов распределения стока по месяцам вегетационного периода июнь — сентябрь

Уравнение	Количе- ство	R	r_{yx_1}	r_{yx_2}	$r_{x_1x_2}$	S/o
$y = Q_{VI} = 42,7 \frac{x_{X-V}}{\bar{x}_{X-V}} \Gamma + 171 \frac{x_{X-V}}{\bar{x}_{X-V}} K + 35,6 \Sigma \frac{x_{X-V}}{\bar{x}_{X-V}} \times$ $\Delta_1 = 0,641$ $\times C_1 D_1 \Gamma_1 A - 266 \frac{\theta_{IV-V}}{\theta_{IV-V}} K + 220$ $\Delta_2 = 359$	31	0,904	0,873	-0,655	-0,523	0,44
$y = Q_{VII} = 24,3 \frac{x_{X-V}}{\bar{x}_{X-V}} \Gamma + 134 \frac{x_{X-V}}{\bar{x}_{X-V}} K + 21,3 \Sigma \frac{x_{X-V}}{\bar{x}_{X-V}} \times$ $\Delta_1 = 0,701$ $\times C_1 D_1 \Gamma_1 A - 146 \frac{\theta_{IV-V}}{\theta_{IV-V}} K + 109$ $\Delta_2 = 0,299$	31	0,912	0,891	-0,632	-0,526	0,41
$y = Q_{VIII} = 5,4 \frac{x_{X-V}}{\bar{x}_{X-V}} \Gamma + 58,1 \frac{x_{X-V}}{\bar{x}_{X-V}} K + 6,8 \Sigma \frac{x_{X-V}}{\bar{x}_{X-V}} \times$ $\Delta_1 = 0,708$ $\times C_1 D_1 \Gamma_1 A - 52,8 \frac{\theta_{IV-V}}{\theta_{IV-V}} K + 65,6$ $\Delta_2 = 0,292$	31	0,703	0,689	-0,489	-0,540	0,75
$y = Q_{IX} = 3,6 \frac{x_{X-V}}{\bar{x}_{X-V}} \Gamma + 27,5 \frac{x_{X-V}}{\bar{x}_{X-V}} K + 3,5 \Sigma \frac{x_{X-V}}{\bar{x}_{X-V}} \times$ $\Delta_1 = 0,993$ $\times C_1 D_1 \Gamma_1 A - 0,57 \frac{\theta_{IV-V}}{\theta_{IV-V}} K + 14,4$ $\Delta_2 = 0,007$	31	0,696	0,695	-0,377	-0,537	0,72
$Q_{IX} = 3,5 \frac{x_{X-V}}{\bar{x}_{X-V}} \Gamma + 26,9 \frac{x_{X-V}}{\bar{x}_{X-V}} K + 3,4 \Sigma \frac{x_{X-V}}{\bar{x}_{X-V}} C_1 D_1 \Gamma_1 A + 14,0$	33		0,695			0,74

уравнениях являются те же суммы осадков за октябрь — март и по тем же гидрометстанциям, которые брались для основного прогноза среднего расхода притока воды на вегетационный период. Эффективность уравнений для всех месяцев вегетационного периода ($r=0,668—0,795$ и $S/\sigma=0,76\div 0,66$) позволяет давать прогноз распределения стока по месяцам вегетационного периода.

При составлении прогноза среднего расхода притока воды на май — сентябрь распределение его по месяцам этого периода можно рассчитать по уравнениям, приведенным в той же табл. 10. Предикторами в этих уравнениях взяты суммы осадков за октябрь — апрель, как и в уравнении для прогноза стока на весь период. Эффективность этих уравнений характеризуется коэффициентами корреляции $r=0,724—0,900$ и $S/\sigma=0,72\div 0,46$.

Для распределения стока по месяцам периода июнь — сентябрь получены уравнения, в которых предикторами взяты суммы осадков за октябрь — май и средняя температура воздуха за апрель — май, как и для прогноза среднего расхода притока воды на этот период. Эти уравнения и оценка их эффективности даются в табл. 11. Во всех уравнениях для прогнозов распределения стока по месяцам вегетационного периода май — сентябрь и июнь — сентябрь осадки для каждого месяца брались с соответствующими коэффициентами, равными долям стока в общем стоке каждой из четырех рек, в бассейне которой гидрометстанция находится (табл. 9).

В уравнениях для прогноза распределения стока по месяцам периода июнь — сентябрь (табл. 11) вклад осадков увеличивается от июня к сентябрю, а температура воздуха, наоборот, уменьшается, и в уравнении для прогноза среднего расхода на сентябрь вклад ее составляет всего 0,7%. Поэтому в уравнении для прогноза среднего расхода на сентябрь в качестве предиктора взяты только суммы осадков с октября по май.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гирник Е. И. Методика долгосрочных прогнозов средних за вегетационный период и средних месячных расходов воды в р. Карадарье. — Труды САНИГМИ, 1960, вып. 3(18), с. 28 — 36.
2. Гирник Е. И. Учет разбора воды на орошение из р. Сырдарьи при составлении гидрологических прогнозов. — Труды САНИГМИ, 1964, вып. 17(32), с. 84 — 89.
3. Джорджино З. В. Опыт долгосрочных прогнозов стока рек Средней Азии. — Ташкент: Изд-во САГУ, 1957. — 200 с.
4. Ильин И. А. Водные ресурсы Ферганской долины. — Л.: Гидрометеиздат, 1959. — 245 с.
5. Овчинников А. М., Шенцис И. Д., Гущина С. Н. Опыт разработки методов долгосрочных прогнозов стока горных рек для АСУ водными ресурсами. — Труды САНИГМИ, 1975, вып. 26(107), с. 21—37.
6. Пономаренко П. Н. Атмосферные осадки в Киргизии. — Л.: Гидрометеиздат, 1976. — 134 с.
7. Рубинова Ф. Э. Изменение стока р. Сырдарьи под влиянием водохозяйственного строительства в ее бассейне. — Труды САНИГМИ, 1979, вып. 58(139). — 135 с.

8. Шикломанов А. И., Смирнова Л. Е. Оценка влияния хозяйственной деятельности на сток крупных рек Кавказа (Кура, Терек, Кубань). — Труды ГГИ, 1973, вып. 206, с. 86—105.
9. Шульц В. Л. Реки Средней Азии. — Л.: Гидрометеониздат, 1965. — 691 с.
10. Щетинников А. С. К вопросу о питании ледников бассейна р. Карадарьи. — Труды САРНИГМИ, 1977, вып. 45(126), с. 73—82.

И. Д. ШЕНЦИС

ЗАДАЧА ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ВЕГЕТАЦИОННОГО СТОКА ГОРНЫХ РЕК НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Первым и необходимым этапом работы явилось построение модели, описывающей полный цикл формирования стока в горном бассейне. Временной и пространственный масштаб модели, степень ее сложности и детализации описания процессов определялись поставленной задачей долгосрочного прогноза стока. Определенные ограничения были наложены необходимостью использования только стандартной гидрометеорологической информации.

Процесс формирования стока горной реки был условно представлен в виде следующих блоков: формирование снежного покрова в бассейне; поступление талой и дождевой воды на поверхность бассейна; трансформация последней в сток, фиксируемый в замыкающем створе бассейна (учитывалась лишь трансформация в толще бассейна, русловой трансформацией в решаемой задаче можно пренебречь).

Модель формирования снежного покрова в горах, комплексная методика оценки снегозапасов на территории горного района, основанная на использовании наземной, авиационной и спутниковой информации в рамках этой модели, методика оценки трансформации стока горных рек — все эти вопросы подробно рассмотрены в [1—3]. Представлены также оценки точности решения этих задач и полученные результаты, поэтому здесь мы на этом останавливаться не будем.

Доминирующая роль сезонного снежного покрова в питании рек Средней Азии является принципиальной положительной предпосылкой решения задачи долгосрочного прогнозирования вегетационного стока при условии относительно надежной оценки снегозапасов в бассейне. Предложенная комплексная методика такой оценки при совместном использовании результатов всех видов снегосъемок и расчетов по модели позволяет к моменту выпуска прогноза весной получить достаточно полные и надежные сведения о снегозапасах в горном бассейне и их распределении по высотным зонам, т. е. достаточно надежно оценить объем талой составляющей вегетационного стока.

Однако объем дождевой составляющей, ход во времени талого и дождевого поступления, потери на испарение — все это оп-

ределяется будущими погодными условиями весны и лета, т. е. периода заблаговременности прогноза. При отсутствии надежного долгосрочного прогноза погоды на период вегетации наиболее простой вариант построения долгосрочного прогноза вегетационного стока горной реки на основе математической модели заключается в следующем: в период заблаговременности использовать климатические оценки метеоэлементов (осадков, температуры и дефицита влажности воздуха).

Такой подход аналогичен по сути принятому в статистических методах гидропрогнозов, которые основаны на построении стохастических связей, например вегетационного стока с накоплением осадков за холодный период (последняя величина служит оценкой снегозапасов). Стохастическая связь позволяет дать прогноз вегетационного стока по величине снегонакопления (либо его оценке) в предположении некоторых средних погодных условий в период заблаговременности. Теснота связи зависит от наличия и степени аномальных ситуаций в зависимой выборке исходных данных.

При таком подходе предполагаемый выигрыш от использования модели для прогноза определяется попыткой взамен простых стохастических связей описать детерминированной моделью весь цикл формирования стока. Его эффект зависит во многом от степени адекватности модели природным процессам (табл. 1). Для сравнения в таблице помещены соответствующие оценки оперативных методов гидропрогнозов — связей вегетационного стока с накоплением осенне-зимних осадков на репрезентативных станциях и гораздо реже с характеристиками снежного покрова по данным маршрутных снегоъемок либо отсчетов по авиадистанционным рейкам. В общем, оценки оказались одного порядка. Преимущество предложенного метода проявляется лишь при уточнении прогноза в апреле — мае, когда возрастает роль оставшихся в бассейне снегозапасов и их распределения по высотным зонам. В этот период информационная ценность традиционного предиктора — накопления осенне-зимних осадков — резко понижается, поступление оперативной снегомерной информации прекращается, и единственным источником сведений о снежном покрове может служить математическая модель, работающая на стандартной гидрометеорологической информации.

Анализ значительных погрешностей прогноза показал, что они имели место в годы с экстремальными погодными условиями в период вегетации. Так, оказался неудачным прогноз вегетационного стока р. Ахангаран в 1979 г., хотя расчет его по модели вполне удовлетворителен (рис. 1). В этом году аномально высокие (2%-ной обеспеченности) осадки в апреле и несколько выше нормы в мае обусловили повышенный сток, который в этот период оказался гораздо больше прогнозируемого. Вместе с тем, происходило значительное накопление снегозапасов в верхних зонах бассейна, чему в немалой степени способствовали условия очень холодного мая (обеспеченность среднемесячной температуры воз-

Оценка долгосрочного прогноза вегетационного стока рек Ахангаран и Чаткал
по методу, основанному на математических моделях, в сравнении
с оперативными методами

Срок выпуска прогноза	Месяц	р. Ахангаран — выше устья р. Иерташ				р. Чаткал — выше устья р. Худайдодсай			
		счет по модели, S/σ	прогноз			счет по модели, S/σ	прогноз		
			по модели		опера- тивный S/σ		по модели		оператив- ный S/σ
			S/σ	$P\%$			S/σ	$P\%$	
3-я декада марта (прогноз)	IV	0,32	0,61	77	0,40	0,44	0,62	63	0,64
	V	0,39	0,52	77	0,57	0,43	0,45	88	0,55
	VI	0,33	0,60	85	0,65	0,48	0,60	75	0,46
	VII	0,26	0,48	85	0,61	0,45	0,73	69	0,58
	VIII	0,24	0,37	85	0,51	0,55	0,62	69	0,58
	IX	0,28	0,43	85	0,76	—	—	—	—
	IV—IX	0,22	0,47	92	0,40	0,27	0,52	88	0,43
2-я декада апреля (1-е уточнение прогноза)	V	0,43	0,44	85	0,36	0,49	0,39	88	0,50
	VI	0,34	0,49	85		0,48	0,51	81	
	VII	0,26	0,39	85		0,45	0,57	69	
	VIII	0,24	0,33	100		0,55	0,52	81	
	IX	0,28	0,38	92		—	—	—	
	V—IX	0,32	0,36	100		0,39	0,46	81	—
2-я декада мая (2-е уточнение прогноза)	VI	0,26	0,31	92	0,52	0,49	0,47	88	0,37
	VII	0,19	0,27	100		0,48	0,47	81	
	VIII	0,18	0,27	100		0,57	0,49	94	
	IX	0,28	0,29	92		—	—	—	
	VI—IX	0,23	0,29	92		0,47	0,43	94	

Примечание. S/σ — эффективность, $P\%$ — оправдываемость прогноза.

Примечание. S/σ — эффективность, $P\%$ — оправдываемость прогноза.

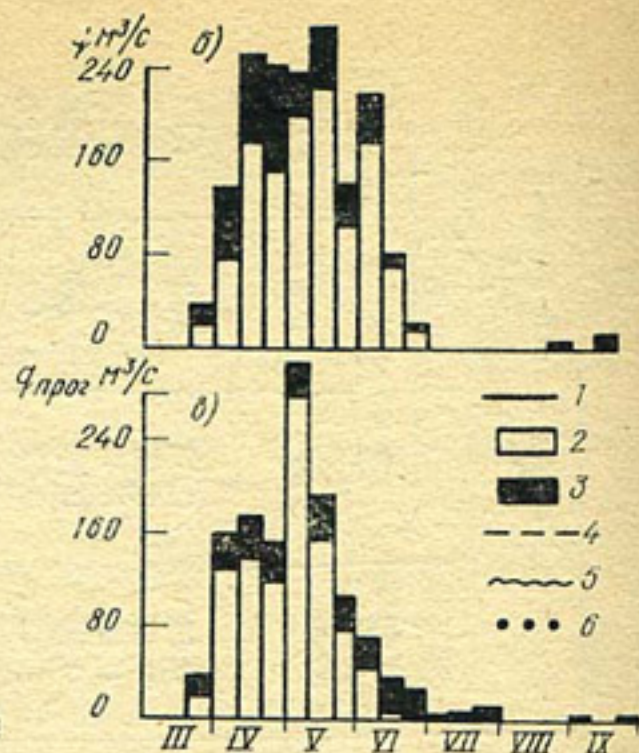
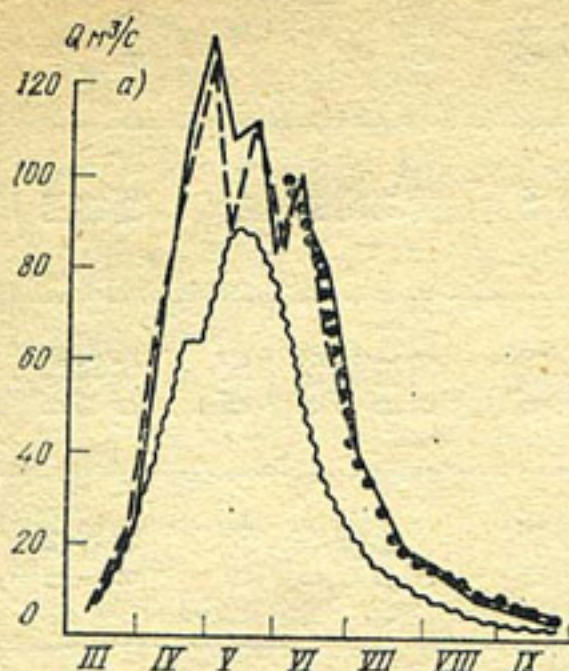


Рис. 1. Результат расчета и прогноза по модели вегетационного стока р. Ахангаран — створ устье р. Иерташ в 1979 г. (а); временный ход поступления талой и дождевой воды на поверхность бассейна, рассчитанного по модели при измеренных величинах осадков, температуры и дефицита влажности воздуха (б); то же при климатических оценках этих метеозлементов на период заблаговременности прогноза (с апреля по сентябрь) (в):

1 — измеренные расходы воды, 2 — талое поступление, 3 — дождевое поступление, 4 — рассчитанный по модели сток, 5 — прогноз стока в конце марта, 6 — уточнение прогноза в конце мая

духа 89%). В общем по бассейну снегозапасы, в марте близкие к норме, составили в апреле полторы, а в конце мая — три нормы. В результате в июне при близких к норме температуре воздуха и осадках прошел еще один талый паводок, возможность которого гидропрогнозисты не могли предположить даже в конце мая, так как никакой оперативной снегомерной информации о верхних зонах они в этот срок не получили.

Естественно, что при отсутствии долгосрочного прогноза погоды эта необычная ситуация не могла быть предсказана в конце марта и апреля даже с помощью модели, так как на период заблаговременности прогноза были приняты климатические оценки метеозлементов. Но в конце мая оценка по модели оставшихся в бассейне снегозапасов с учетом их распределения по высотным зонам позволила значительно уточнить прогноз стока на оставшуюся часть вегетационного периода (рис. 1).

Аналогичным примером может служить неудачный прогноз стока р. Ахангаран на апрель 1980 г., когда на фоне близких к норме осадков наблюдалась высокая (в среднем за месяц 14%-ной обеспеченности) температура воздуха. В результате за этот месяц стаяли 70% снегозапасов в бассейне: в конце марта они были близки к норме, а к концу апреля составили лишь 42% нормы. Естественно, прогноз среднего за апрель расхода воды, рассчитанный при климатических оценках метеозлементов

в этом месяце, оказался значительно заниженным ($48,1 \text{ м}^3/\text{с}$) по сравнению с измеренным ($75,8 \text{ м}^3/\text{с}$) (расчет по модели при фактических значениях метеоэлементов близок к измеренной величине — $78,1 \text{ м}^3/\text{с}$).

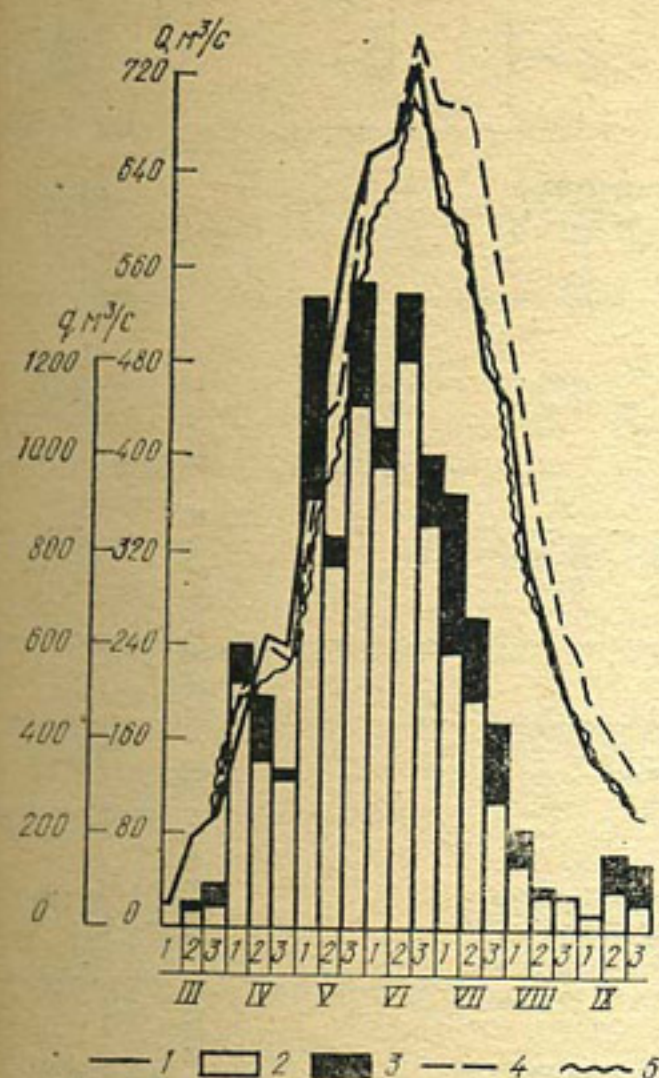
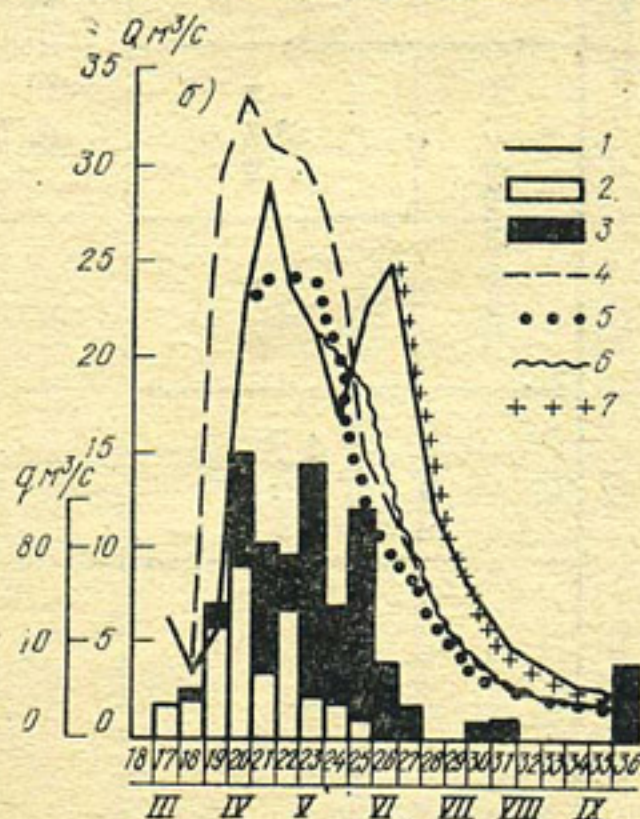
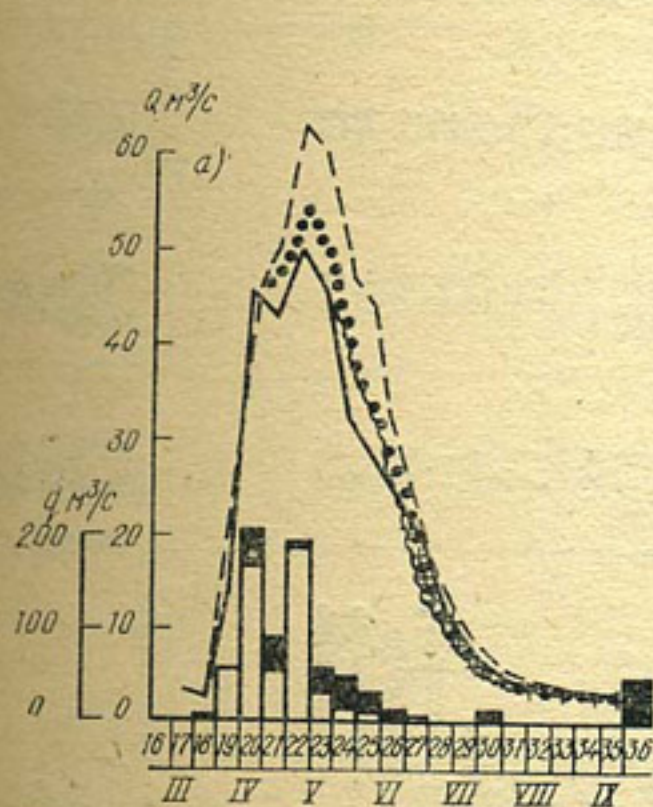


Рис. 2. Результат расчета и прогноза по модели вегетационного стока р. Чаткал — створ выше устья р. Худайдодсай в 1969 г.:

1 — 5 см. рис. 1

Рис. 3. Прогноз по модели вегетационного стока р. Ахангаран — створ устье р. Иерташ (а), р. Кугарт — с. Михайловское (б) в 1986 г.:

1 — измеренные расходы воды, 2 — талое поступление, 3 — дождевое поступление, 4 — прогноз стока в конце марта, 5 — прогноз стока в конце апреля (1-е уточнение), 6 — прогноз стока в конце мая (2-е уточнение), 7 — прогноз стока в конце июня (3-е уточнение)



Результат производственных испытаний метода долгосрочного прогноза вегетационного стока на основе модели в бассейнах рек

Месяц, сезон	Допустимая погрешность 0,674 σ	Измеренный сток		Прогноз стока, м³/с							
		Q м³/с	% нормы	в конце марта		в конце апреля (1-е уточнение)		в конце мая (2-е уточнение)		в конце июня (3-е уточнение)	
				Q̂	ΔQ	Q̂	ΔQ	Q̂	ΔQ	Q̂	ΔQ
р. Ахангаран — устье р. Иерташ											
Апрель	15,6	34,2	59	39,0	4,8	47,3	4,9	24,0	0,6	9,6	0,7
Май	22,3	42,4	56	56,9	14,5	25,4	2,0	8,3	-0,6	4,5	0,5
Июнь	18,8	23,4	55	32,2	8,8	8,8	-0,1	4,2	0,2	3,2	-0,1
Июль	7,7	8,9	53	10,6	1,7	4,2	0,2	3,1	-0,2		
Август	3,4	4,0	49	4,7	0,7	3,1	-0,2				
Сентябрь	1,4	3,3	63	3,2	-0,1						
Апрель—сентябрь	11,1	18,8	55	24,4	5,6	17,8	1,4	9,9	0,0	5,8	0,4
Май—сентябрь	10,9	16,4	55								
Июнь—сентябрь	7,2	9,9	54								
Июль—сентябрь	4,0	5,4	54								
р. Чаткал—выше устья р. Худайдодсай											
Апрель	30,5	78,5	62	57	-21,5	169	16	215	-2	159	21
Май	66,5	153	66	144	-9	168	-49	120	-18		
Июнь	80,3	217	70	196	-21	111	-27				
Июль	68,1	138	66	110	-28						

Август	30,9	67,8	65	55	-12,8	57,9	-9,9	50,2	-17,6	70,7	2,9
Сентябрь	13,5	45,4	74	33,5	-11,9	35,3	-10,1	27,8	-17,6	35,6	-9,8
Апрель—сентябрь	46,1	117	67	99,3	-17,7						
Май—сентябрь	51,0	124	68			108	-16				
Июнь—сентябрь	47,2	117	68					103	-14		
Июль—сентябрь	36,9	83,4	67							88,3	4,9

р. Кугарт — с. Михайловское

Апрель	15,9	19,3	39	30,9	11,6						
Май	21,6	20,6	32	27,5	6,9	22,5	1,9				
Июнь	14,2	21,6	53	12,3	-9,3	10,4	-11,2	14,2	-7,4		
Июль	7,6	9,2	46	5,3	-3,9	4,8	-4,4	5,4	-3,8	9,1	-0,1
Август	3,4	4,4	45	2,8	-1,6	2,6	-1,8	2,8	-1,6	3,6	-0,8
Сентябрь	1,8	2,4	39	2,2	-0,2	2,1	-0,3	2,2	-0,2	2,4	0,0
Апрель—сентябрь	9,8	12,9	41	13,5	0,6						
Май—сентябрь	9,2	11,6	41			8,5	-3,1				
Июнь—сентябрь	6,3	9,4	50					6,1	-3,3		
Июль—сентябрь	4,1	5,3	45							5,0	-0,3

Примечание. Q — измеренный расход воды, $\hat{Q}$ — прогнозируемый расход воды, $\Delta Q = \hat{Q} - Q$ — ошибка прогноза.

В экстремально многоводном 1969 г. прогноз в конце марта (рис. 2) оказался успешным, так как сток половодья в этом году в основном определялся экстремальным снегонакоплением, достаточно точно оцененным по модели к сроку выпуска прогноза.

В 1986 г. в отделе гидропрогнозов Гидрометцентра Узбекского УГКС были проведены производственные испытания предложенного метода долгосрочного прогноза месячных и сезонных величин вегетационного стока рек Ахангаран, Чаткал и Кугарт на основе модели. Всего в стандартные сроки в оперативном порядке было дано 66 прогнозов, и из них 65 оправдались (рис. 3, табл. 2).

Расчет по модели проводился с декадным шагом. На период заблаговременности прогноза, как уже указывалось, были приняты климатические оценки осадков, температуры и дефицита влажности воздуха. Этот прием не позволил учесть аномально высокие осадки в бассейне Кугарта в первой декаде июня, сформировавшие значительное дождевое поступление и второй пик половодья (рис. 3б), что привело к ухудшению оценок прогнозов июньского расхода воды, выпущенных в конце марта, апреля и мая. Уточнение прогноза в конце июня оказалось, естественно, более удачным и подтвердило возможность и эффективность корректировки прогноза поступающей оперативной информацией о стоке в рамках модели.

В общем, испытание метода в экстремально маловодном 1986 г. дало удовлетворительные результаты.

Отметим, что в качестве климатических оценок осадков, температуры и дефицита влажности воздуха в период заблаговременности прогноза были использованы их величины 50%-ной обеспеченности. При этом удобной оказалась пространственная свертка информации: реализация поля представлялась значением элемента в некоторой нулевой точке, определенным путем «приведения» к этой точке результатов наблюдений на сети станций и постов в данном районе. Если задан вид численной аппроксимации поля и известны параметры этой аппроксимации, то приведенная к нулевой точке величина однозначно определяет значения элемента во всех узлах расчетной сетки [1].

Таким образом, с помощью приема вероятностно-статистический анализ набора реализаций поля при условии однородности последнего можно заменить анализом временного вектора случайной величины — значения элемента в нулевой точке. Возможность анализа будущей гидрометеорологической ситуации в рамках модели и оценка вариации прогнозируемого стока путем розыгрыша экстремальных погодных условий в период заблаговременности позволяют в рамках предложенного метода переходить к формулировке прогноза в вероятностной форме.

Из того, что погрешность прогноза в рассматриваемом методе складывается из погрешностей моделей и собственно прогноза, следует:

важность всемерного уточнения структуры моделей (в пределах точности используемой информации и решаемой задачи); необходимость контроля, оценки и корректировки работы моделей на промежуточных этапах, как это предусмотрено, например в комплексной методике оценки снеготопливных запасов в горах;

необходимость использования метеорологических прогнозов и оценка эффективности такого подхода (структура моделей позволяет вводить в расчет прогноз погоды любой заблаговременности — от декады до сезона).

Представленные в работе предварительные результаты и оценки показали принципиальную возможность построения долгосрочного прогноза вегетационного стока горных рек на основе математических моделей и позволили наметить пути дальнейшего развития и совершенствования метода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шенцис И. Д. Макромасштабная модель формирования снежного покрова на территории горного региона. — Труды САННИ Госкомгидромета, 1986, вып. 111(192), с. 15 — 27.
2. Шенцис И. Д., Ионов В. Б. Методы корректировки расчета снеготопливных запасов в горах по модели данными измерений. — Труды САННИ Госкомгидромета, 1986, вып. 111(192), с. 27 — 36.
3. Шенцис И. Д. Усовершенствованная модель трансформации стока. — Труды САННИ Госкомгидромета, 1986, вып. 125(206), с. 3—13.

И. Д. ШЕНЦИС

ЧИСЛЕННОЕ ОПИСАНИЕ ПОЛЕЙ НОРМ ОСАДКОВ ДЛЯ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ГОРАХ

Корректное и адекватное описание полей осадков в значительной степени определяет точность модели формирования снежного покрова в горах. Сложность этой задачи, трудности практической реализации ее решения из-за ограниченности либо отсутствия необходимой информации — все это заставляет неоднократно возвращаться к указанной проблеме [4—6].

Коротко напомним суть метода, использованного для расчета полей осадков в макромасштабной модели формирования снежного покрова на территории горного района [6]. В модели предусмотрен расчет выпадающих атмосферных осадков в узлах регулярной пространственной сетки ежедекадно в течение года, начиная с октября. Исходной информацией служат данные измерений осадков на стандартной сети гидрометеорологических станций и постов. По сути дела, в модели решается задача интерполяции и экстраполяции значений декадных сумм осадков в узлы сетки при весьма ограниченном объеме исходной информации, особенно в верхних зонах бассейнов, где осадкомерная сеть прак-

тически отсутствует. В такой ситуации задача представления поля осадков в горном районе в полном диапазоне изменения высоты местности не может быть решена без привлечения некоторой априорной информации о виде распределения осадков по территории.

Основные и значимые закономерности распространения осадков хорошо прослеживаются на полях их норм, для описания которых удается использовать информацию об осадках гораздо большего объема, чем для расчета отдельных временных реализаций поля. Достигается это за счет привлечения наблюдений по суммарным осадкомерам и использования косвенных оценок осадков на основе гляциоклиматической и снегомерной информации, о чем более подробно будет сказано далее.

Анализ полей норм осадков показал, что если выйти за пределы частного бассейна горной реки и рассматривать горный район, например склон хребта первого порядка, либо крупный горный бассейн (до 40—70 тысяч квадратных километров) с достаточно сложным орографическим строением, то величины осадков не только и не столько определяются высотой местности, но в значительной мере зависят также от особенностей орографии и ее воздействия на осадкообразующие процессы. Можно попытаться численно охарактеризовать это воздействие некоторыми показателями, такими, например, как расстояние до водораздельных гребней, точки стыка хребтов, удаленность от входа в долину и др.

Для этого многомерного случая используем и разовьем подход, предложенный Ю. М. Денисовым [4] для одномерной зависимости осадков от высоты местности в горном бассейне. Разложим многомерную зависимость норм осадков от высоты местности и показателей орографии в ряд Тейлора в окрестности некоторой точки (назовем ее нулевой), ограничившись членами второго порядка. Коэффициенты разложения, пронормированные по величине осадков в нулевой точке, назовем относительными параметрами. Например, двухфакторная зависимость норм осадков от высоты местности (Z) и показателя орографии (L) может быть представлена в виде

$$\bar{x}(Z, L) = x(Z_0, L_0) [1 + k_2(Z - Z_0) + k_3(Z - Z_0)^2 + k_4(L - L_0) + k_5(L - L_0)^2 + k_6(Z - Z_0)(L - L_0)]. \quad (1)$$

где Z, L — координаты точки поля; Z_0, L_0 — то же в нулевой точке; $k_2, \dots, k_6$ — относительные параметры.

В тех случаях, когда влияние рельефа на поле осадков имеет дискретный характер и не может быть описано непрерывной функцией от его показателей, распределение осадков на территории горного района представляется группой одномерных зависимостей от высоты местности в виде

$$\bar{x}(Z) = x(Z_0) [1 + k_2(Z - Z_0) + k_3(Z - Z_0)^2]. \quad (2)$$

Выявленные для поля норм закономерности территориального и высотного распределения осадков должны каким-то образом проявляться и в отдельных реализациях, несмотря на значительную временную и пространственную изменчивость полей осадков. Это следует из того, что при большом разнообразии процессов, формирующих в разные годы осадки различной величины, наблюдается все же относительно закономерная повторяемость процессов определенного вида в рассматриваемый отрезок времени и остается неизменным характер воздействия на них факторов макро- и мезорельефа на территории горного района.

В связи с этим была проверена гипотеза о неизменности некоторых критериев подобия полей осадков от реализации к реализации. В качестве таких критериев приняты относительные параметры в выражениях (1) и (2).

Численные эксперименты подтвердили гипотезу об устойчивости системы относительных параметров во времени (от года к году), возможность и эффективность (особенно с учетом внутригодового хода) использования их для расчета временных реализаций полей осадков в соответствующие сезоны, месяцы, декады.

Заданный в (1) и (2) вид распределения осадков и известные величины относительных параметров служат той априорной информацией, которая позволяет рассчитывать поле осадков при ограниченном объеме стандартных метеоданных. Напоминаем, что указанная априорная информация получена путем анализа и расчета полей норм.

Не останавливаясь детально на порядке расчета, изложенном в [6], в этой статье основное внимание уделим задаче численного описания полей норм осадков, точность и корректность решения которой, как следует из всего вышесказанного, в значительной мере определяет точность расчета полей осадков и снежного покрова в модели. В частности, будут рассмотрены следующие вопросы:

косвенные оценки осадков в горах и возможность комплексного использования различной информации для численного описания полей норм осадков;

результаты численного представления полей норм осадков в виде функций высоты местности и показателей орографии в ряде горных районов Средней Азии;

оценка внутригодового распределения осадков в горах.

Указанные в табл. 1 источники информации об осадках в различных горных районах Средней Азии (Ферганская долина, Чирчик-Ахангаранский бассейн, бассейн р. Зеравшан) наглядно показывают, что высотные зоны выше 2,5 км практически не освещены стандартными наблюдениями на станциях и постах. Суммарные осадкомеры, позволяющие оценить (притом довольно приближенно) годовые и сезонные суммы осадков, поднимают «потолок» наблюдений до 3,0—3,5 км. Более высокие зоны, где выпадают значительные осадки и формируются основные снегозапасы, остаются до сих пор «белыми пятнами».

Источник информации об осадках и их распределение по высотным зонам

Высота, км	Ферганская долина (склоны Ферган- ского и Алайского хребтов)				Чирчик-Ахангаран- ский бассейн				Бассейн р. Зеравшан			
	станция, пост	ОСК	расчет на фир- новой границе	расчет по снегозапасам	станция, пост	ОСК	расчет на фирно- вой границе	расчет по снегозапасам	станция, пост	ОСК	расчет на фир- новой границе	расчет по снегозапасам
<2,0	40	3	—	4	18	9	—	—	10	—	—	—
2,0—2,5	7	5	—	7	5	10	—	7	4	1	—	4
2,5—3,0	2	6	—	7	—	7	—	6	1	15	—	3
3,0—3,5	—	3	—	7	—	8	3	6	1	21	—	3
3,5—4,0	—	1	5	10	—	—	7	8	—	4	2	3
>4,0	—	3	7	1	—	—	—	—	—	—	1	—

Примечание. ОСК — суммарный осадкомер.

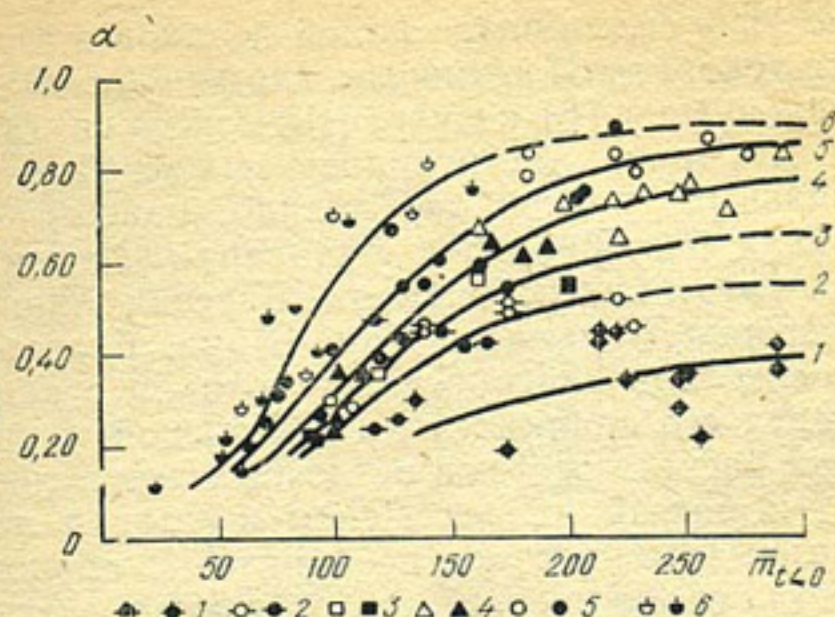
Некоторые косвенные оценки осадков на высотах 3,5—4,0 км и выше дает гляциоклиматическая информация. Величина аккумуляции — абляции на высоте фирновой границы ледника с учетом коэффициента концентрации позволяет рассчитать годовую сумму твердых осадков [3] и общую годовую сумму осадков [2]. В расчетах использованы карты годовых сумм твердых осадков и аккумуляции — абляции, построенные для территории Средней Азии сотрудниками Института географии АН СССР под руководством А. Н. Кренке [3]. При этом мы ориентировались не на отдельные ледники, а оценивали среднюю величину осадков на средневзвешенной высоте фирновой границы группы ледников.

Естественной также явилась попытка оценки осадков по снегомерной информации при наличии снегосъемок там, где не проводятся наблюдения над осадками, особенно в верхних зонах.

Анализ соотношения норм годовых сумм твердых осадков и максимальных снегозапасов по данным наблюдений на станциях не позволил прийти к каким-либо определенным выводам из-за скудости исходной информации и неравномерного освещения территории с разными условиями формирования осадков и снегонакопления. Привлечение результатов расчета по математической модели формирования снежного покрова [6] в ряде характерных горных бассейнов на территории Средней Азии и Казахстана дало возможность более детально исследовать этот вопрос. Была получена зависимость (рис. 1) значения α (отношение нормы максимальных снегозапасов к норме годовой суммы твердых осадков) от внутригодового распределения осадков и термических

Рис. 1. Зависимость $\alpha = \frac{\bar{W}_{\max}}{x_{\text{ТВ}}}$ от продолжительности холодного периода ($m_t < 0$) и доли (δ) осадков октября — марта в годовой сумме для горной территории Средней Азии и Казахстана:

1, 2, 3, 4, 5, 6 — соответственно $\delta = 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7$; зачерненные значки — данные метеостанций, полые — результаты модельных расчетов.



условий периода залегания снежного покрова. Рассчитанные по такому соотношению косвенные оценки норм годовых сумм осадков заметно пополняют объем информации (в том числе в верхних зонах гор), использованной для решения задачи численного описания поля норм осадков в горах (табл. 1).

Расчет норм осадков на основе различной и независимой информации (гляциоклиматической и снегомерной), сопоставление их и взаимный контроль позволяют уменьшить степень неопределенности и случайности полученных величин и более надежно судить об увлажнении горной территории при отсутствии непосредственных осадкомерных наблюдений.

Анализ полей норм месячных и сезонных сумм осадков на горной территории Средней Азии с привлечением осадкомерной и гляциоклиматической информации показал наличие существенных различий в распределении осадков. Для полноты изложения здесь мы повторим некоторые результаты предыдущих публикаций [5, 6]. Так, в пределах Ферганской долины резко различаются юго-западный склон Ферганского хребта и северный склон Алайского хребта.

Открытый и благоприятно ориентированный к влагонесущим потокам юго-западный склон Ферганского хребта хорошо увлажнен, характеризуется сравнительно плавным возрастанием осадков с высотой и вдоль склона по мере приближения к боковому хребту Баубашата, стык которого с основным хребтом образует своеобразный орографический «мешок». В качестве аргументов для расчета осадков использованы высота местности (Z) и расстояние (L) до точки стыка Ферганского и Алайского хребтов.

Северный склон Алайского хребта неблагоприятно ориентирован для влагонесущих масс воздуха, что определяет его существенно меньшее увлажнение, и характеризуется сложным рельефом с наличием мощных гребней, параллельных главному. В результате затеняющего воздействия этих и боковых водораздельных гребней внутригорные территории получают гораздо меньшее количество осадков, чем периферийные на той же высоте. Слож-

ность и своеобразие полей осадков в этом районе не позволяет пока говорить об окончательном решении поставленной задачи. Приведенные в [6] результаты можно считать предварительными.

В Чирчик-Ахангаранском бассейне наличие мощных водораздельных гребней определило дискретность полей осадков в пределах бассейнов рек Ахангаран, Пскем, Чаткал и необходимость их раздельного описания. Бассейн Ахангарана расположен на периферии Западного Тянь-Шаня, благоприятно ориентирован относительно влагонесущих потоков с запада и юго-запада. В пределах его сравнительно небольшой площади ведущим аргументом при расчете осадков остается высота местности.

В бассейнах рек Пскем и Чаткал необходимо учитывать, кроме высоты местности, обратный продольно-циркуляционный эффект, проявляющийся в убывании осадков при удалении в глубь речных долин. В бассейне Чаткала этот эффект усиливается за счет экранированности долины массивом Большой Чимган.

В бассейне Зеравшана осадки преимущественно формируются влагонесущими потоками двух направлений: с запада через устьевую часть долины и с юга через перевалы Гиссарского хребта. В условиях сложного рельефа бассейна возникает наложение продольно-циркуляционного и барьерного эффектов, что делает невозможным описание воздействия факторов орографии на поле осадков в виде монотонных зависимостей. Распределение осадков здесь может быть описано системой однофакторных зависимостей от высоты местности в бассейнах рек Ягноб, Искандердарья, Матча и отдельно для средней части р. Зеравшан при входе в долину, включая бассейн р. Магнандарья.

На рис. 2 в качестве примера показана такая зависимость для бассейна р. Пскем (а) и юго-западного склона Ферганского хребта (б).

Приведенные в табл. 2 оценки численной аппроксимации полей норм сезонных и месячных сумм осадков свидетельствуют о вполне удовлетворительных результатах расчета и приемлемости выбранного пути. В качестве оценок здесь использованы величины корреляционного отношения связей осадков с выбранными по-

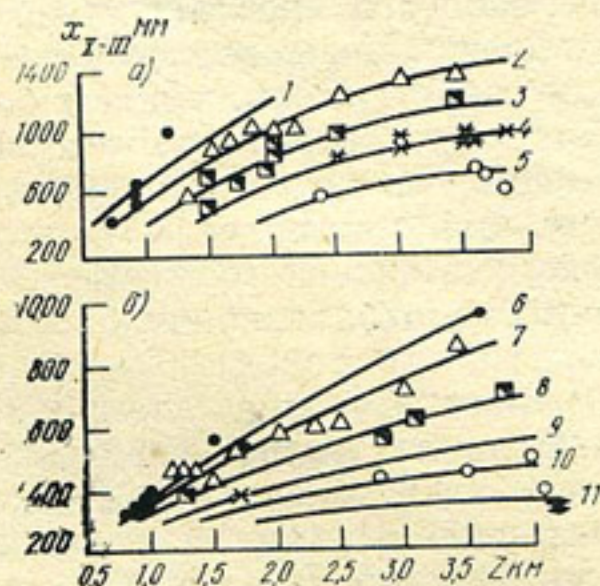


Рис. 2. Зависимость суммы осадков холодного периода (октябрь — март) от высоты местности и показателей макрорельефа

а — по удаленности от входа в долину р. Пскем 50 км (1), 70 км (2), 100 км (3), 120 км (4), 130 км (5); б — по удаленности от точки стыка Ферганского и Алайского хребтов 150 км (6), 130 км (7), 90 км (8), 60 км (9), 40 км (10), 20 км (11)

Оценка точности численного описания полей норм сезонных сумм осадков

Район	Октябрь—март		Апрель—сентябрь	
	корреляци- онное отно- шение	средняя ошибка, %	корреляци- онное отношение	средняя ошибка, %
Бассейн р. Пскем	0,90	11	0,96	9
Бассейн р. Чаткал	0,98	5	0,98	6
Бассейн р. Ахангаран	0,91	8	0,96	7
Юго-западный склон Фер- ганского хребта	0,96	7	0,96	10
Бассейн р. Матча (Зерав- шан)	0,84	19	0,75	19
Бассейн р. Искандердарья	0,97	9	0,94	10
Бассейн р. Ягноб	0,97	10	0,95	9
Средняя часть бассейна р. Зеравшан, бассейн р. Ма- гандарья	0,89	6	0,94	13

казателями и средние ошибки расчета полей (в процентах относительно исходных значений осадков в точках измерения либо расчетных оценок).

Положительной оценкой точности метода является также удовлетворительное совпадение величин снегозапасов, определенных по модели формирования снежного покрова на основе рассчитанных указанным способом полей осадков, с результатами снегоъемок (наземных, авиационных, спутниковых) [6].

Ввиду того что наблюдения по суммарным осадкомерам и косвенные расчетные оценки позволяют определить лишь годовую сумму осадков, особо важным становится вопрос расчета внутригодового распределения осадков. Построенная мелкомасштабная карта распределения значения δ (доли осадков за октябрь—март в годовой сумме) [2] и рекомендованные зависимости месячных долей осадков от δ на территории Средней Азии [1] отражают общие фоновые закономерности и при расчете осадков в отдельных горных районах дают в ряде случаев значительные погрешности.

Здесь использован другой подход к решению этого вопроса. Для оценки внутригодового распределения осадков проводился в комплексе анализ зависимостей трех видов: зависимость месячных долей осадков в годовой сумме ($\bar{x}_{\text{год}}/\bar{x}_{\text{мес}}$) от высоты местности и показателей рельефа; зависимость доли осадков холодного периода в годовой сумме (δ) от высоты местности и показателей рельефа; зависимость месячных долей осадков ($\bar{x}_{\text{мес}}/\bar{x}_{\text{год}}$) от δ .

При этом обнаружилось следующее:

для месячных и сезонных долей осадков в ряде случаев про-

Внутригодовое распределение осадков в горных районах Средней Азии

Z, км	δ	Доля месячных сумм осадков в годовой сумме, %											
		октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
Бассейн р. Пскем, низовья р. Чаткал													
1,0	0,69	8,5	11,0	12,5	11,0	10,0	16,0	15,0	8,5	3,0	1,5	1,0	2,0
1,5	0,66	10,0	10,5	12,0	10,5	10,0	13,0	14,0	9,0	5,0	2,0	2,0	2,0
2,0	0,62	10,5	10,5	11,5	8,5	9,0	12,0	14,0	10,0	7,0	3,0	2,0	2,0
2,5	0,61	11,5	10,0	11,5	8,5	8,5	12,0	14,0	10,5	7,5	3,0	2,0	2,0
3,0	0,60	11,5	10,0	11,0	8,0	8,0	11,5	14,0	10,5	8,0	3,5	2,0	2,0
3,5	0,59	11,5	9,5	11,0	7,5	8,0	11,5	14,0	11,0	8,0	3,5	2,0	2,5
4,0	0,59	11,5	9,5	11,0	7,5	8,0	11,5	14,0	11,0	8,0	3,5	2,0	2,5
Бассейн р. Чаткал													
1,0	0,69	8,0	11,0	12,5	11,0	10,0	16,5	15,0	8,5	3,0	1,5	1,0	2,0
1,5	0,63	9,0	10,5	11,0	8,5	8,5	14,5	14,0	9,0	6,0	3,5	2,0	2,0
2,0	0,59	9,5	10,5	10,5	7,5	8,0	13,0	14,0	10,5	8,0	4,5	2,0	2,0
2,5	0,57	10,0	10,0	9,5	7,0	8,0	12,5	14,0	11,0	9,0	5,0	2,0	2,0
3,0	0,57	10,0	10,0	9,5	7,0	8,0	12,5	14,0	11,0	9,0	5,0	2,0	2,0
3,5	0,56	10,5	9,5	9,0	6,5	8,0	12,5	14,0	11,0	9,5	5,0	2,0	2,5
4,0	0,56	10,5	9,5	9,0	6,5	8,0	12,5	14,0	11,0	9,5	5,0	2,0	2,5
Бассейн р. Ахангаран													
1,0	0,69	8,0	10,0	12,5	11,0	10,5	17,0	16,5	8,5	2,5	1,5	1,0	1,0
1,5	0,67	8,0	10,0	12,0	10,5	10,0	16,5	16,5	9,0	3,0	2,0	1,5	1,0
2,0	0,65	8,0	10,0	11,5	10,0	10,0	15,5	17,0	9,5	4,0	2,0	1,5	1,0
2,5	0,64	8,0	10,0	11,0	10,0	10,0	15,0	17,0	9,5	4,5	2,5	1,5	1,0
3,0	0,63	8,0	10,0	11,0	9,5	9,5	15,0	17,0	10,0	4,5	3,0	1,5	1,0
3,5	0,62	8,0	10,0	11,0	9,0	9,5	14,5	17,0	10,5	5,0	3,0	1,5	1,0
Бассейн р. Матча													
1,5	0,45	6,0	8,0	5,0	5,0	7,0	14,0	16,5	17,5	10,0	5,0	4,0	2,0
2,0	0,41	6,0	6,0	4,5	4,5	6,0	14,0	16,5	17,5	12,0	7,0	4,0	2,0
2,5	0,40	6,0	6,0	4,0	4,0	6,0	14,0	16,5	17,0	12,5	8,0	4,0	2,0

Бассейны рек Ягноб, Искандердарья, низовья р. Зеравшан

3,00,41	6,0	6,0	4,5	4,5	6,0	14,0	16,0	16,5	12,5	8,0	4,0	2,0
3,50,45	6,0	7,0	5,5	5,5	7,0	14,0	15,0	14,5	12,0	8,0	3,5	2,0
4,00,49	6,0	8,5	6,5	6,5	7,5	14,0	15,0	12,5	11,0	8,0	2,5	2,0
1,00,70	6,0	10,0	11,0	11,0	14,0	18,0	15,0	12,5	1,0	0,5	0,5	0,5
1,50,56	6,0	8,0	7,0	7,0	10,5	17,5	19,0	15,0	5,5	2,0	1,5	1,0
2,00,49	6,0	6,0	6,0	5,0	9,0	17,0	19,5	16,0	8,0	3,5	2,5	1,5
2,50,48	6,0	6,0	6,0	5,0	9,0	16,0	19,0	15,5	9,0	4,0	3,0	1,5
3,00,49	6,0	6,0	7,0	6,0	9,0	15,0	17,0	15,0	9,5	4,5	3,0	2,0
3,50,52	6,0	7,0	8,0	7,5	9,5	14,0	15,0	14,0	9,5	5,0	2,5	2,0
4,00,57	6,0	8,5	9,0	9,0	11,0	13,5	12,5	12,5	9,0	5,0	2,0	2,0
Юго-западный склон Ферганского хребта, $L < 100$ км												
1,00,54	8,0	12,0	8,5	5,5	8,0	12,0	16,0	12,0	9,0	5,0	2,5	1,5
1,50,49	8,0	10,5	7,0	5,0	7,0	11,5	15,0	14,5	10,0	6,0	3,0	2,5
2,00,47	8,0	9,5	7,0	4,5	7,0	11,0	14,0	16,0	10,5	7,0	3,5	3,0
2,50,45	8,0	9,0	6,5	4,5	6,5	10,5	13,5	16,5	10,5	7,0	4,0	3,5
3,00,44	8,0	9,0	6,5	4,5	6,0	10,0	13,0	17,0	11,0	7,0	4,5	3,5
3,50,44	8,0	9,0	6,5	4,5	6,0	10,0	13,0	17,0	11,0	7,0	4,5	3,5
$L = 100 \div 140$ км												
1,00,60	8,0	12,0	8,5	6,0	10,0	15,5	16,0	12,0	6,5	2,5	1,5	1,5
1,50,54	8,0	10,5	7,5	6,0	8,5	13,5	15,0	14,5	8,0	4,0	2,0	2,5
2,00,51	8,0	9,5	7,0	6,0	8,0	12,5	14,0	16,0	8,5	5,0	2,5	3,0
2,50,49	8,0	9,5	6,5	6,0	7,5	11,5	13,5	16,5	9,0	5,5	3,0	3,5
3,00,48	8,0	9,0	6,5	5,5	7,5	11,5	13,0	17,0	9,5	6,0	3,0	3,5
3,50,48	8,0	9,0	6,5	5,5	7,5	11,5	13,0	17,0	9,5	6,0	3,0	3,5
$L > 140$ км												
1,00,63	8,0	12,0	9,0	8,0	10,0	16,0	13,5	11,5	6,5	2,5	1,5	1,5
1,50,57	8,0	10,5	8,0	7,5	9,0	14,0	14,0	12,5	8,0	4,0	2,0	2,5
2,00,54	8,0	10,0	7,5	7,0	8,5	13,0	14,0	13,0	8,5	5,0	2,5	3,0
2,50,51	8,0	9,5	7,0	7,0	8,0	11,5	14,5	13,5	9,0	5,5	3,0	3,5
3,00,50	8,0	9,0	7,0	6,5	8,0	11,5	14,5	14,0	9,5	5,5	3,0	3,5
3,50,50	8,0	9,0	7,0	6,5	8,0	11,5	14,5	14,0	9,5	5,5	3,0	3,5

Примечание. L — удаленность от точки стыка Ферганского и Алайского хребтов.

слеживается влияние, кроме высоты местности, тех же показателей рельефа, что и для самих величин осадков (рис. 3);

необходимость экстраполяции в верхние зоны, где нет данных стандартных наблюдений, двенадцати зависимостей вида $\frac{\bar{x}_{\text{мес}}}{\bar{x}_{\text{год}}} =$

$=f(Z)$ либо $\frac{\bar{x}_{\text{мес}}}{\bar{x}_{\text{год}}} = f(Z, L)$, а также необходимость их взаимной

увязки приводит к весьма неопределенной ситуации;

такая экстраполяция более однозначно может быть проведена на одной зависимости $\delta = f(Z)$ либо $\delta = f(Z, L)$, а затем учтена на месячных связях;

четко прослеживается эффект детализации зависимости $\frac{\bar{x}_{\text{мес}}}{\bar{x}_{\text{год}}} = f(\delta)$ для отдельных горных районов по сравнению с фоновой для всей Средней Азии [1];

комплексная оценка долей месячных и сезонных сумм осадков с использованием указанных зависимостей повышает надежность экстраполяции показателей внутригодового распределения осадков в верхние зоны.

В табл. 3 приведены полученные таким образом оценки внутригодового распределения осадков на территории Ферганской долины (юго-западный склон Ферганского хребта), Западного Тянь-Шаня и в бассейне р. Зеравшан.

Рассмотренные вопросы численного описания полей норм и оценки внутригодового распределения осадков в горах представляют частные блоки метода расчета полей осадков в модели формирования снежного покрова. Однако, как показал опыт, они требуют особо пристального внимания, так как корректное решение этих вопросов определяет в весьма значительной степени точность решения всей задачи.

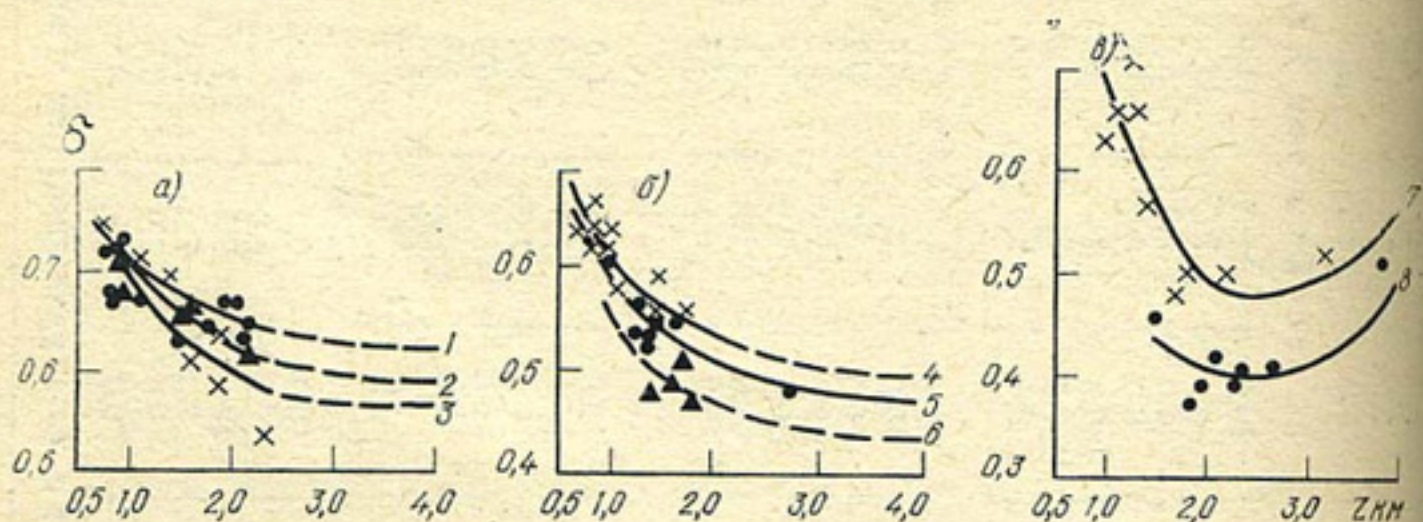


Рис. 3. Зависимость доли (δ) осадков октября — марта в годовой сумме от высоты местности в Западном Тянь-Шане (а), на юго-западном склоне Ферганского хребта (б), в бассейне р. Зеравшан (в):

а — по бассейнам рек Ахангаран (1), Пскем (2), Чаткал (3); б — по удаленности от точки стыка Ферганского и Алайского хребтов >140 км (4), $100-140$ км (5), <100 км (6); в — по бассейнам рек Ягноб, Искандердарья, Фандарья, низовья р. Зеравшан (7), Матча (8)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геткер М. И., Глазырин Г. Е., Кадомцева Т. Г. Методика определения характеристик снежного покрова для неизученной территории. — В кн.: Материалы гляциологических исследований, 1980, вып. 37, с. 79—84.
2. Геткер М. И., Архипова О. М. Расчет и распределение годовой доли твердых осадков по территории Средней Азии. — В кн.: Материалы гляциологических исследований, 1985, вып. 52, с. 177—183.
3. Кренке А. Н. Массообмен в ледниковых системах на территории СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1982. — 288 с.
4. Математическое моделирование процесса стока горных рек/Л. Н. Боровикова, Ю. М. Денисов, Е. Б. Трофимова, И. Д. Шенцис — Труды САНИГМИ, 1972, вып. 61(76), с. 135—142.
5. Шенцис И. Д. Метод расчета макромасштабного поля осадков в горах. — Труды САНИИ Госкомгидромета, 1982, вып. 94(175), с. 40—52.
6. Шенцис И. Д. Макромасштабная модель формирования снежного покрова на территории горного региона. — Труды САНИИ Госкомгидромета, 1986, вып. 111(192), с. 15—27.

Л. Ю. ВАСИЛИНА

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ МЕТОДА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СНЕГОЗАПАСОВ В ГОРАХ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАЗЕМНОЙ, АВИАДИСТАНЦИОННОЙ И СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

С октября 1983 по май 1985 г. в отделе гидрологических прогнозов Гидрометцентра УзУГКС проводились производственные испытания метода комплексной оценки снегозапасов в горах на основе использования наземной, авиационной и спутниковой информации в математических моделях, разработанного в отделе гидрологических исследований САНИИ [1, 2]. Рассматриваемая территория включала в себя следующие районы: юго-западный склон Ферганского хребта, северный склон Алайского хребта и Западный Тянь-Шань. Эти районы значительно различаются по условиям формирования снежного покрова вследствие различной ориентации и доступности для влагонесущих потоков, сложности рельефа и т. д. Снегозапасы оценивались по 14 частным бассейнам с распределением по высотным зонам в диапазоне 0,5—4,5 км.

Испытуемый метод разработан в САНИИ (И. Д. Шенцис, 1983 г.) и предусматривает три этапа работы: расчет снегозапасов по математической модели формирования снежного покрова на территории горного района; оценку рассчитанных снегозапасов путем сопоставления их с результатами снегосъемок; корректировку расчета по модели в случаях значимых и систематических расхождений рассчитанных и измеренных величин снегозапасов.

Расчет по модели с временным шагом, равным декаде, дает возможность оперативной оценки снегозапасов в горном районе

по всем частным бассейнам в его пределах. В каждом бассейне ежедекадно рассчитываются высота сезонной снеговой границы, площадь заснеженности, объем и средний слой снеготопливов, распределение снеготопливов по высотным зонам. Исходной информацией для расчета по модели служит стандартная информация об осадках и температуре воздуха, которая поступает в оперативном порядке в отдел гидропрогнозов с сети станций и постов, расположенных на территории горного района. Необходимая для расчета информация о каждом районе: характеристики расчетной сетки, численное описание рельефа в узлах сетки, сведения о гипсографии частных бассейнов, параметры модели — подготовлена разработчиками метода и записана на магнитную ленту. Вычисления проводились по программам, представленным автором метода «ФОРТРАН-IV, ЕС ЭВМ-1060, 1061) [3].

Для оценки расчета снеготопливов по модели использовались данные снеготопливок всех видов: наземных — маршрутных и декадных, авиационных — гамма-съемок и отсчетов по дистанционным рейкам, спутниковых — оценок площади заснеженности и высоты сезонной снеговой границы по снимкам искусственных спутников Земли (ИСЗ) низкого разрешения.

Задача сопоставления рассчитанных и измеренных величин снеготопливов оказалась очень сложной. Расчет по модели дает средний слой снега в высотной зоне бассейна. При значительной изменчивости залегающего в зоне снежного покрова измерения на нескольких (в лучшем случае) площадках снеготопливок или аэроснеготопливок (2—3 рейки) не могут дать оценку средней величины в зоне. Несколько больше степень осреднения на маршрутах декадной съемки и гамма-съемки (порядка 1 км и более).

Методы измерений дают оценки снеготопливов разной точности и оценивают разные характеристики их. Наземные снеготопливки и гамма-съемка позволяют оценить водность снега, но наземные снеготопливки освещают лишь предгорные и среднегорные районы. Авиационная гамма-съемка позволяет измерять снеготопливы лишь в случае, если слой воды в снеге не превышает 600 мм. Авиадистанционные наблюдения по рейкам повышают «потолок» поступающей информации, но дают лишь толщину снежного покрова.

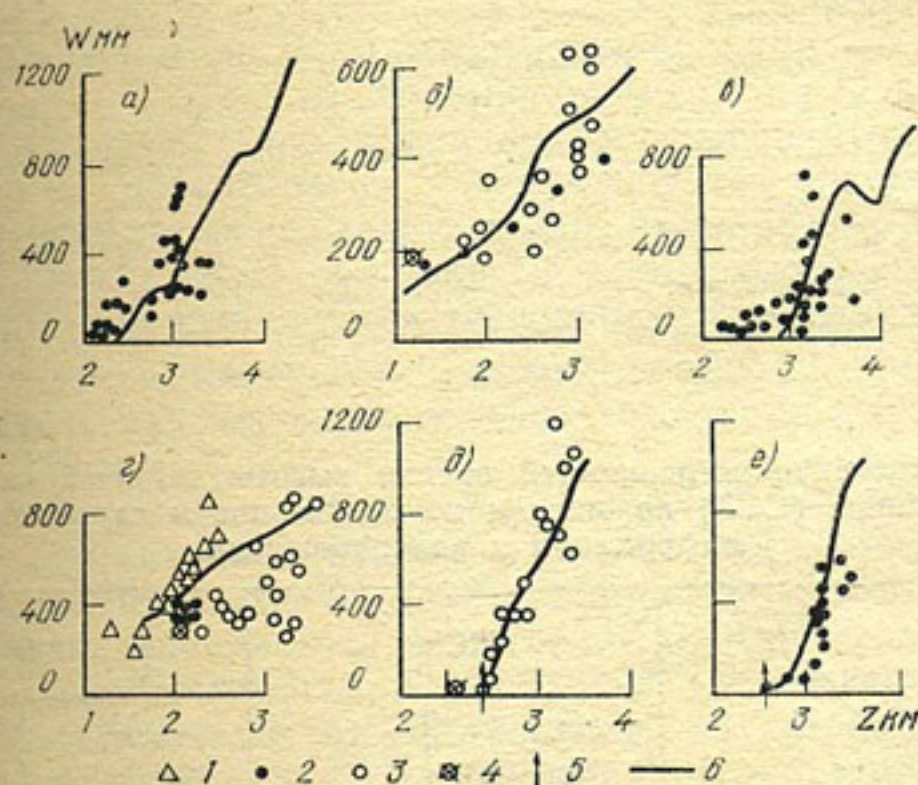
Для определения водности снега приходится использовать приближенные оценки плотности снежного покрова по другим видам снеготопливок, проводимых в этом бассейне или в соседних, сходных по условиям формирования и залегания снежного покрова, либо (особенно в весенние месяцы) какие-то весьма приближенные среднемноголетние величины плотности. Это обстоятельство снижает ценность и точность получаемой информации. Сроки проведения наблюдений по авиадистанционным рейкам, как и других стандартных снеготопливок, — конец декабря, января, февраля и марта. Однако часто из-за неблагоприятных погодных условий сроки авианаблюдений сдвигаются или же наблюдения не проводятся совсем. Это относится и к гамма-съемке, которая дает сведения о водности снега, однако из-за несовершенства

методики и аппаратуры могут возникать неточности в измерениях, и кроме того, сейчас эта информация получается только по территории Западного Тянь-Шаня.

Данные о высоте сезонной снеговой границы (ССГ) и ИСЗ поступают нерегулярно, особенно в весенний период, когда эти сведения наиболее необходимы.

В результате, исходя из всего вышесказанного, оказалось: оценки снегозапасов в высотной зоне по разным видам измерений могут различаться и в некоторых случаях настолько существенно, что не представляется возможным судить по ним о величине среднего слоя; когда имеются наблюдения одного вида, таких противоречий не возникает, но данных измерений недостаточно для надежной оценки средних в зоне снегозапасов.

По этой причине для сопоставления рассчитанных и измеренных снегозапасов с целью проверки метода строились графики их распределения по высотным зонам. На них наносились результаты всех измерений (рисунок), но оценка расхождения производилась по каждому из видов снегосъемок отдельно. Оценки выполнялись на наборе случаев: один случай — сопоставление расчета и результата измерений одного вида съемок в высотной зоне с шагом 0,5 км на определенную дату (шаг по времени — декада).



Сопоставление измеренных и рассчитанных по модели снегозапасов в бассейнах рек Западного Тянь-Шаня:

а — р. Чаткал (20 IV 1985), б — р. Пескем (29 II 1984), в — р. Ойганинг (20 V 1985), г, д, е — р. Ахангаран соответственно 20 II, 30 IV, 20 V 1985; 1 — измерение снегозапасов на снегопунктах маршрутной снегосъемки, 2 — гамма-съемка, 3 — по авиадистанционным рейкам, 4 — на площадках (маршрутах) декадной снегосъемки, 5 — оценка высоты сезонной снеговой границы по ИСЗ, 6 — расчет высоты сезонной снеговой границы по модели средних в зоне снегозапасов

Распределение погрешностей рассчитанных снегозапасов по отношению к видам снегосъемок

Градация ошибок, %	Маршрутная снегосъемка		Дистанционная рейка		Гамма-съемка		Декадная снегосъемка	
	число случаев	%	число случаев	%	число случаев	%	число случаев	%
0—10	28	60	75	54	51	48	4	14
11—20	10	21	38	27	30	28	4	14
21—30	4	8	13	9	13	10	9	31
>30	5	11	14	10	15	14	12	41
Всего случаев	47	100	140	100	109	100	29	100

Исходя из точности измерений снежного покрова и неравномерности его залегания в пределах высотной зоны автором метода рекомендованы допустимые погрешности оценки снегозапасов:

а) 20% — при сравнении с данными наземных наблюдений за снежным покровом и с гамма-съемкой;

б) 30% — при сравнении с данными измерений по авиадистанционным рейкам;

в) 300 м — при оценке высоты ССГ по модельным расчетам и снимкам ИСЗ низкого разрешения.

Проведенные испытания показали следующее (табл. 1 и 2).

Сопоставление рассчитанных снегозапасов с результатами маршрутной снегосъемки проводилось в диапазоне высот 1,5—2,0 км. Всего рассмотрено 47 случаев. В 81% случаев отклонение рассчитанных снегозапасов от измеренных менее 20%.

Таблица 2

Распределение погрешностей оценки высоты сезонной снеговой границы (ССГ) по модели по отношению к спутниковой информации и авианаблюдениям

Градация ошибок, м	ИСЗ		Авиа	
	число случаев	%	число случаев	%
<50	7	28	—	—
50—100	10	40	1	50
100—150	—	—	1	50
150—200	—	—	—	—
200—250	2	8	—	—
250—300	1	4	—	—
>300	5	20	—	—
Всего случаев	25	100	2	100

Сопоставление рассчитанных снегозапасов с измеренными по авиадистанционным рейкам проводилось в основном в диапазоне высот 2,0—3,5 км. Всего рассмотрено 140 случаев. В 90% случаев отклонение расчетов от измерений менее 30% (допустимая погрешность для дистанционных реек). При более жесткой оценке, принятой для маршрутных снегосъемок (погрешность менее 20%), результат по рейкам получается аналогичным наземным измерениям: в 81% случаев ошибка меньше допустимой.

Сопоставление с результатами измерений по гамма-съемке в диапазоне высот 2,0—2,5 км проведено в 107 случаях. В 76% случаев ошибка оказалась меньше допустимой. При этом значительные ошибки, наблюдаемые в ноябре — декабре (бассейны рек Майдантал, Ойгаинг, Пскем, Чаткал и Ахангаран), относятся, вероятно, к погрешностям гамма-съемки, которая фиксирует не только снег, но и увлажнение почвы. Последняя в этот период соизмерима с величиной снегозапасов. В январе различия между расчетами и измерениями сглаживаются, ошибки становятся незначительными.

Результаты декадных снегосъемок хуже вяжутся с расчетами. В 72% случаев (всего случаев 29) отклонение составило более 20%, причем во всех случаях измеренные снегозапасы превышают рассчитанные и измеренные другими способами. Это говорит о том, что декадные снегосъемки, которые проводятся в районе станций на участке с благоприятными условиями залегания и сохранения снежного покрова, не могут характеризовать средние в высотных зонах снегозапасы, значительно завышая их величины.

Сравнение оценок высоты снеговой границы по расчетам и по спутниковой информации низкого разрешения (25 случаев наблюдений) в 76% случаев показало расхождение менее 250 м, в 80% случаев — менее 300 м. Отклонение от оценок по авиадистанционным наблюдениям в двух имеющихся случаях оказалось менее 150 м.

При анализе материалов снегосъемок особое внимание обращалось на случаи значительных расхождений оценок по разным видам измерений (табл. 3). Так, например, во второй декаде февраля 1985 г. (рисунок 2) в бассейне р. Ахангаран по данным маршрутной снегосъемки в зоне 2,0—2,5 км величина снегозапасов составила 600 мм водности снега, по данным гамма-съемки — 400 мм, по расчету — 500 мм. Ошибка расчета по сравнению с маршрутной снегосъемкой 17%, гамма-съемкой — 25%, расхождение между обоими видами снегосъемок — 40—50%. В этот же срок дистанционные рейки занижают снегозапасы в 2 раза по сравнению с маршрутной снегосъемкой. Случаи особо противоречивых данных не привлекались.

Метод комплексной оценки снегозапасов в горах предусматривает возможность уточнения расчетов по модели в случае значительных и систематических расхождений между рассчитанными снегозапасами и данными измерений. В процессе производст-

Оправдываемость метода расчета снегозапасов в разных районах за период испытаний

Район	Маршрутная снегосъемка			Авиадистанционная рейка			Гамма-съемка		
	число случаев	допустимая погрешность, %	число случаев превышения допу- стимой погрешности (%)	число случаев	допустимая погрешность, %	число случаев превышения допу- стимой погрешности (%)	число случаев	допустимая погрешность, %	число случаев превышения допу- стимой погрешности (%)
Бассейны рек Пскем, Чаткал, Угам	10	20	60	89	20 30	81 93	86	20	76
Бассейн р. Ахангаран	16	20	100	20	20 30	100 100	21	20	76
Юго-западный склон Ферганского хребта (реки Кугарт, Яссы, Кара-кульджа)	1	20	100	14	20 30	79 79	—	—	—
Северный склон Алайского хребта (реки Сох, Исфайрам, Акбура, Тар)	20	20	75	17	20 30	59 71	—	—	—
Всего	47	20	81	140	20 30	81 90	107	20	76

венных испытаний корректировка снегозапасов не проводилась ввиду того, что таких расхождений в тех бассейнах и в тех высотных зонах, где проводились наблюдения, не было.

Кроме сопоставления рассчитанных снегозапасов с данными измерений, было проведено сравнение их величин с вегетационным стоком. Для этого в ряде бассейнов определялись коэффициенты стока как отношение вегетационного стока к сумме талого и дождевого поступлений, рассчитанных по модели. Расчеты проводились по группам лет, разным по снежности в конце марта. Полученные коэффициенты стока не противоречат известным их оценкам (возрастают с высотой водосбора и с увеличением увлажнения).

В рамках испытаний метода проведена проверка способа его применения в оперативной работе. Прежде всего была использована регулярность во времени и по территории оценки снегозапасов по расчету в сравнении с данными снегосъемок, которые поступают в отдел гидропрогнозов крайне нерегулярно и в недостаточном объеме. На основании расчетной информации о снеге проводился анализ динамики снегонакопления в ряде бассейнов путем построения временного хода объемов снегозапасов и распределения снегозапасов по высотным зонам в каждом частотном бассейне, сопоставление с нормой, прошлым годом и выбор лет-аналогов (табл. 4).

Попытка построения прогностических связей рассчитанных по модели снегозапасов в бассейне со стоком показала (табл. 5), что в некоторых случаях они оказались более тесными, чем используемые сейчас в оперативной практике (в основном по накоплению осадков за холодный период). Прослеживается тенденция их большей эффективности для уточнения прогноза в мае. Однако эти результаты можно считать лишь предварительными. Этот вопрос является предметом самостоятельной работы и требует более тщательных проработок и учета не только суммарных в бассейне снегозапасов, но и их распределения по высотным зонам.

Производственные испытания метода комплексной оценки снегозапасов в горах показали следующее. Рассчитанные по модели снегозапасы могут служить вполне удовлетворительными оценками снегонакопления в горах. Существенным преимуществом метода является его оперативность (ввиду использования для расчета только стандартной метеоинформации), регулярность во времени (ежедекадно) и по площади на территории горного района (оценка снегозапасов во всех частных бассейнах с распределением по высотным зонам).

Данные снегосъемок поступают в отдел гидропрогнозов крайне нерегулярно, в недостаточном объеме и не могут обеспечить подобной оперативной и регулярной оценки снегозапасов во всех бассейнах на рассматриваемой территории. Снегомерная информация необходима для текущей непрерывной оценки расчетов, чтобы иметь уверенность в результатах работы самой модели в

Река, пост	1983—1984 гг.			1984—1985 гг.		
	млн. м ³		% от	млн. м ³		% от
	1984 г.	1983 г.		норма	1985 г.	
Волга	120	115	100	125	120	100
Дон	85	80	100	90	85	100
Северный Донец	45	40	100	48	45	100
Днепр	60	55	100	65	60	100
Южный Донец	30	25	100	32	30	100
Восточный Донец	20	15	100	22	20	100
Западный Донец	15	10	100	16	15	100
Средний Донец	10	5	100	11	10	100
Северный Донец	5	2	100	5	5	100
Южный Донец	3	1	100	3	3	100
Восточный Донец	2	0.5	100	2	2	100
Западный Донец	1	0.2	100	1	1	100
Средний Донец	0.5	0.1	100	0.5	0.5	100
Северный Донец	0.2	0.05	100	0.2	0.2	100
Южный Донец	0.1	0.02	100	0.1	0.1	100
Восточный Донец	0.05	0.01	100	0.05	0.05	100
Западный Донец	0.02	0.005	100	0.02	0.02	100
Средний Донец	0.01	0.002	100	0.01	0.01	100
Северный Донец	0.005	0.001	100	0.005	0.005	100
Южный Донец	0.002	0.0005	100	0.002	0.002	100
Восточный Донец	0.001	0.0002	100	0.001	0.001	100
Западный Донец	0.0005	0.0001	100	0.0005	0.0005	100
Средний Донец	0.0002	0.00005	100	0.0002	0.0002	100
Северный Донец	0.0001	0.00002	100	0.0001	0.0001	100
Южный Донец	0.00005	0.00001	100	0.00005	0.00005	100
Восточный Донец	0.00002	0.000005	100	0.00002	0.00002	100
Западный Донец	0.00001	0.000002	100	0.00001	0.00001	100
Средний Донец	0.000005	0.000001	100	0.000005	0.000005	100
Северный Донец	0.000002	0.0000005	100	0.000002	0.000002	100
Южный Донец	0.000001	0.0000002	100	0.000001	0.000001	100
Восточный Донец	0.0000005	0.0000001	100	0.0000005	0.0000005	100
Западный Донец	0.0000002	0.00000005	100	0.0000002	0.0000002	100
Средний Донец	0.0000001	0.00000002	100	0.0000001	0.0000001	100
Северный Донец	0.00000005	0.00000001	100	0.00000005	0.00000005	100
Южный Донец	0.00000002	0.000000005	100	0.00000002	0.00000002	100
Восточный Донец	0.00000001	0.000000002	100	0.00000001	0.00000001	100
Западный Донец	0.000000005	0.000000001	100	0.000000005	0.000000005	100
Средний Донец	0.000000002	0.0000000005	100	0.000000002	0.000000002	100
Северный Донец	0.000000001	0.0000000002	100	0.000000001	0.000000001	100
Южный Донец	0.0000000005	0.0000000001	100	0.0000000005	0.0000000005	100
Восточный Донец	0.0000000002	0.00000000005	100	0.0000000002	0.0000000002	100
Западный Донец	0.0000000001	0.00000000002	100	0.0000000001	0.0000000001	100
Средний Донец	0.00000000005	0.00000000001	100	0.00000000005	0.00000000005	100
Северный Донец	0.00000000002	0.000000000005	100	0.00000000002	0.00000000002	100
Южный Донец	0.00000000001	0.000000000002	100	0.00000000001	0.00000000001	100
Восточный Донец	0.000000000005	0.000000000001	100	0.00000000		

Чирчик-Ахангаранский бассейн										
Угам, Ходжикент	383	187	—	204	—	562	383	—	147	—
Пскем, Муллала	510	363	602	140	85	663	510	602	130	110
Майдантал, Устье	290	187	318	155	91	335	290	318	115	105
Ойгаинг, Устье	501	306	554	164	90	596	501	554	119	108
Чаткал, Устье р. Терс	1491	696	1781	214	84	2361	1491	1781	158	132
Чаткал, «Выше устья										
р. Худайдодсай»	572	264	732	217	78	905	572	732	158	123
Ахангаран, «Выше устья										
р. Иерташ»	567	449	582	126	97	848	567	582	150	146
Северный склон Алайского хребта										
Сох, Сарыканда	403	400	403	101	100	541	403	403	134	134
Исфайрам, Учкоргон	301	285	295	106	102	403	301	295	134	137
Куршаб, Гульча	110	114	114	96	96	188	110	114	171	302
Тар, Чалма	392	355	389	110	101	622	392	389	159	160
Акбура, Тулекен	189	184	192	103	98	286	189	192	151	149
Шахимардан, Джидайлик	132	121	129	109	102	182	132	129	138	141
Юго-западный склон Ферганского хребта										
Тентяксай, Чарвак	315	342	431	92	73	715	315	431	227	166
Кугарт, Джергитал	164	175	236	94	69	424	164	236	259	180
Яссы, Саламалик	293	318	388	92	76	614	294	338	220	166
Каракульджа, Акташ	251	263	310	95	81	484	251	310	193	156
Зергер, Тассай	29	30	44	97	66	89	29	44	307	202

Сравнение оценок прогностических зависимостей стока, основанных на рассчитанных по модели снеготопления, с используемыми в оперативной практике

Река, пост	Период, месяц	Оперативная практика	Расчет
Чаткал, «Выше устья Худай-додсай»	IV—IX	0,43	0,46
	IV	0,64	0,68
	V	0,55	0,40
Чирчик — приток воды в Чарвакское водохранилище	IV—IX	0,48	0,46
	V	0,57	0,45
	VI	0,38	0,36
Ахангаран, «Устье р. Иерташ»	IV—IX	0,40	0,44
	IV	0,39	0,56
	V	0,36	0,42

данном году и в отсутствие ошибок расчета из-за исходных данных.

Совместное использование расчетов по модели и данных измерений снежного покрова повышает надежность оперативной оценки снеготопления в горах, позволяет проводить анализ снеготопления и его динамики во времени и по территории, что особенно важно в апреле — мае, когда снеготопление прекращается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шенцис И. Д. Макромасштабная модель формирования снежного покрова на территории горного региона. — Труды САННИ Госкомгидромета, 1986, вып. 111(192), с. 15 — 27.
2. Шенцис И. Д., Ионов В. Б. Метод корректировки расчета снеготопления в горах по модели данными измерений. — Труды САННИ Госкомгидромета, 1986, вып. 111(192), с. 27 — 36.
3. Пакет программ «Расчет снеготопления с использованием наземной, авиационной и спутниковой информации»/И. Д. Шенцис, В. Б. Ионов, Н. А. Жукова, ГосФАП, № Ж 052190911, 1985. — 100 с.

Е. В. ПЕТРЯШОВА, О. М. НОВИЧЕНКО, Т. Б. НЕЛЮБОВА

СХЕМА ПОЛУЧЕНИЯ ПРОГНОЗОВ СРЕДНЕСУТОЧНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ В ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД ДЛЯ РЕК ИССЫКАТА, АЛАМЕДИН

Различия формирования стока в первый (апрель — июнь) и второй (июль — август) периоды вегетации на реках ледниково-снегового питания, обусловленное наличием в бассейнах запасов вечных снегов и ледников, позволяет весь гидрограф стока

вегетации разделить на четыре периода. В многолетнем разрезе сток каждого из периодов рассматривается как генетически однородный массив, определяемый информативными параметрами.

Гидрограф стока в период апрель — май зависит от запасов влаги в бассейне перед началом вегетационного периода. Этот период характеризуется малыми значениями расходов воды, небольшой их изменчивостью от суток к суткам, отсутствием хода внутри суток.

Формирование гидрографа стока в июне, а в некоторые годы в мае — июне обусловлено наличием сезонных снеготаяний в бассейне, а также осадками, выпавшими в первый период вегетации. Изменение величины суточного стока в этот период определяется изменением термических условий в высокогорной зоне, влияющих на таяние сезонных снеготаяний, а также количеством выпавших жидких осадков. Этот период характеризуется резким возрастанием расходов воды, появлением внутрисуточного их изменения.

Переход от одного периода к другому может колебаться в зависимости от метеорологических условий весеннего периода и в пределах декады в ту или другую сторону.

Гидрограф стока в июле — августе формируется таянием вечных снегов и ледников в высокогорной зоне бассейна. Изменение стока в этот период определяется термическими условиями и характеризуется высокими расходами воды, наличием внутрисуточного их хода. Во второй половине августа (в некоторые годы в третьей декаде августа) вследствие понижения температуры воздуха начинается устойчивый спад стока, продолжающийся до зимней межени.

Определение влагозапасов в водосборе, их расходование, изменение термических условий в высокогорной зоне сопряжено с большими погрешностями из-за слабой гидрометеорологической изученности зоны формирования стока. Ввиду этого в качестве основных параметров принимается водность за предшествующий прогнозу период, которая является интегральной характеристикой стокообразующих факторов, и высота нулевой изотермы, изменение которой характеризует увеличение или уменьшение площади одновременного снеготаяния.

Высота нулевой изотермы тесно связана с температурой воздуха (максимальной, минимальной, средней), определяющей интенсивность снеготаяния (табл. 1). Теснота этой связи увеличивается по мере роста высоты принятых станций. Это свидетельствует о репрезентативности данных о высоте нулевой изотермы по ст. Фрунзе, принятых в качестве обобщенного показателя, характеризующего изменение метеорологической ситуации в суточном разрезе.

Понижение высоты нулевой изотермы, уменьшение площади одновременного снеготаяния и интенсивности снеготаяния ведет к понижению расходов воды. Наоборот, повышение высоты нулевой изотермы через определенный промежуток времени, равный

Коэффициенты корреляции связи между высотой нулевой изотермы (H_0) по ГМС Фрунзе и температурой воздуха (t) по ГМС Байтык, Тюя-Ашу и Юрьевка

Срок измерения H_0	Юрьевка			Байтык	Тюя-Ашу
	среднее	максимальное	минимальное	среднее	среднее
6 ч	0,73	0,72	0,73	0,77	0,88
18 ч	0,77	0,74	0,62	0,78	0,84
Среднее	0,82	0,80	0,74	0,84	0,94

времени таяния снегозапасов и добегания их до замыкающего створа, ведет к повышению расходов воды в реке. Указанный промежуток времени определяет заблаговременность прогноза, которая для каждой реки в зависимости от степени ее зарегулированности разная.

Для краткосрочных прогнозов стока имеет значение тот факт, что сток прогностического периода в значительной степени определяется снеготаянием в предпрогнозный период.

Обобщенные за многолетний период зависимости среднесуточных расходов воды по рекам Иссыката, Аламедин от определяющих факторов по однородным периодам выявили общую закономерность изменения среднесуточных расходов воды под воздействием предшествующего состояния водности реки (выраженной в значениях среднесуточных расходов воды за 3, 2, 1 день до прогноза), а также сложившихся метеорологических условий в бассейне (выраженных через высоту нулевой изотермы за 3, 2, 1 день до прогноза).

Между среднесуточными расходами воды и высотой нулевой изотермы при одном и том же состоянии водности в предшествующий период прослеживается четкая зависимость. Лишь при выпадении ливневых осадков в отдельные сутки наблюдается отклонение от выявленной закономерности.

Коэффициенты корреляции зависимости $Q_{i+2}=f(Q_i)$ (где Q_{i+2} — прогнозируемый расход с заблаговременностью 2 сут) по рекам Иссыката, Аламедин для апреля — августа колеблются от 0,93 до 0,96. Эффект уточнения прогноза за счет введения в расчет высоты нулевой изотермы имеется в июне, июле, августе. В апреле — мае введение ее не повышает тесноты связи. Лишь в некоторые годы периодические оттепели способствуют небольшим краткосрочным подъемам расходов воды в эти месяцы.

На основе физико-статистического анализа связей среднесуточных расходов воды от определяющих факторов в генетически однородные периоды приняты следующие прогностические зависимости:

Уравнение регрессии для прогноза среднесуточных расходов воды рек Иссыката и Аламедин с различной заблаговременностью

Месяц	Уравнение	Показатель качества методики	
		R	$\bar{S}/\sigma$
р. Иссыката			
Апрель—май	$Q_{i+1} = 0,98 Q'_i + 0,13$	0,97	0,25
	$Q_{i+2} = 0,95 Q'_i + 0,26$	0,94	0,35
	$Q_{i+3} = 0,92 Q'_i + 0,42$	0,90	0,44
Июнь	$Q_{i+1} = 1,00 Q_i + 0,25 H_{0i-1} - 0,73$	0,98	0,21
	$Q_{i+2} = 1,01 Q_i + 0,25 H_{0i-1} - 0,53$	0,94	0,34
	$Q_{i+3} = 1,04 Q_i + 0,04 H_{0i-1} - 0,36$	0,91	0,42
Июль	$Q_{i+1} = 0,93 Q_i + 1,24 H_{0i-1} - 3,97$	0,97	0,26
	$Q_{i+2} = 0,85 Q_i + 2,26 H_{0i-1} - 6,84$	0,93	0,37
	$Q_{i+3} = 0,77 Q_i + 2,79 H_{0i-1} - 7,58$	0,88	0,48
Август	$Q_{i+1} = 0,93 Q_i + 0,65 H_{0i-1} - 1,71$	0,97	0,25
	$Q_{i+2} = 0,89 Q_i + 0,89 H_{0i-1} - 2,22$	0,94	0,34
	$Q_{i+3} = 0,86 Q_i + 0,99 H_{0i-1} - 2,34$	0,92	0,39
р. Аламедин			
Апрель—май	$Q_{i+1} = 1,03 Q'_i + 0,10$	0,98	0,18
	$Q_{i+2} = 0,99 Q'_i + 0,23$	0,96	0,29
	$Q_{i+3} = 0,97 Q'_i + 0,37$	0,93	0,37
Июнь	$Q_{i+1} = 0,99 Q_i + 0,70 H_{0i-1} - 2,21$	0,99	0,17
	$Q_{i+2} = 0,97 Q_i + 1,06 H_{0i-1} - 3,01$	0,96	0,30
	$Q_{i+3} = 0,95 Q_i + 1,21 H_{0i-1} - 2,95$	0,91	0,41
Июль	$Q_{i+1} = 0,90 Q_i + 2,71 H_{0i-1} - 9,31$	0,98	0,20
	$Q_{i+2} = 0,78 Q_i + 4,86 H_{0i-1} - 15,8$	0,94	0,34
	$Q_{i+3} = 0,66 Q_i + 6,25 H_{0i-1} - 19,0$	0,88	0,47
Август	$Q_{i+1} = 0,91 Q_i + 1,17 H_{0i-1} - 3,49$	0,98	0,21
	$Q_{i+2} = 0,82 Q_i + 1,91 H_{0i-1} - 5,11$	0,94	0,34
	$Q_{i+3} = 0,72 Q_i + 2,47 H_{0i-1} - 5,95$	0,89	0,45

Примечание. Для краткосрочных прогнозов расходов и уровней воды, согласно «Наставлению по службе прогнозов» раздел 3, часть 1, за качество методики прогнозов принято отношение $\bar{S}/\sigma_{\Delta}$, а не $\bar{S}/\sigma$; а за допустимую погрешность — $0,674 \sigma_{\Delta}$ (§ 145, § 178). Этим объясняются высокие показатели качества вышепредложенной методики (от 0,21 до 0,44).

для июня — августа

$$Q_{i+k} = f(Q_i, H_{0i-1}), \quad (1)$$

где Q_{i+k} — прогнозируемый среднесуточный расход воды ($\text{м}^3/\text{с}$) с заблаговременностью k суток ($k=1, 2, 3$); Q_i — среднесуточный расход воды ($\text{м}^3/\text{с}$) текущих суток; H_{0i-1} — средняя высота нулевой изотермы (км) за сутки, предшествующие составлению прогноза;

для апреля — мая

$$Q_{i+k} = f(Q'_i), \quad (2)$$

где Q'_i — расход воды ($\text{м}^3/\text{с}$), измеренный в 8 ч текущих суток.

Определение прогнозируемой функции, а также качественная оценка ее параметров сделана на основе регрессионного анализа. Схема прогноза разработана для рек: Аламедин — устье р. Чункурчак, Иссыката — с. Юрьевка. Разработка программ и все вычисления выполнены на ЭВМ ЕС-1022.

При разработке методики прогноза использованы среднесуточные расходы воды по данным гидрологических ежегодников, а также средние за сутки значения высоты нулевой изотермы по гидрометеостанции Фрунзе за 1970 — 1975, 1980, 1981 гг.

Зависимость (1) выражена уравнением множественной линейной регрессии вида

$$Q_{i+k} = AQ_i + BH_{0i-1} + C.$$

Зависимость (2) выражена уравнением линейной регрессии вида

$$Q_{i+k} = AQ'_i + C.$$

В табл. 2 R — коэффициент множественной корреляции, S/σ — отношение среднеквадратической ошибки проверочных прогнозов к квадратичному отклонению предсказываемой величины.

Средний расход воды на текущие сутки рассчитывается по зависимости $Q_i = f(Q'_i)$. Связь среднесуточного расхода воды (Q_i) с расходом воды, измеренным в 8 ч (Q'_i) очень тесная. Коэффи-

Таблица 3

Оправдываемость прогнозов среднесуточных расходов воды (%) с заблаговременностью 2 сут по рекам Иссыката и Аламедин за 1984 г.

Месяц	Относительная погрешность, %				Месяц	Относительная погрешность, %			
	5	10	15	20		5	10	15	20
р. Иссыката					р. Аламедин				
Июнь	43	57	62	67	Июнь	14	52	72	86
Июль	27	77	95	100	Июль	50	73	96	100
Август	32	73	91	100	Август	23	64	91	100

циенты корреляции по р. Иссыката составляют для июня 0,995, для июля — августа 0,980, по р. Аламедин для июня 0,998, для июля — августа 0,988.

Предварительная апробация разработанных методик показала удовлетворительные результаты, дающие возможность прогнозировать среднесуточные расходы воды по Иссыкату и Аламедину с заблаговременностью 1 сут для всех месяцев (апрель — август) и с заблаговременностью 2 сут за исключением июня с относительной погрешностью до 15% (табл. 3).

Д. Х. САЛИХОВА, Л. Ф. ЛЯХОВСКАЯ

АЭРОСИНОПТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗ СЕЛЕВЫХ ЯВЛЕНИЙ В БАССЕЙНЕ р. ЗЕРАВШАН

По активности селевой деятельности на территории Узбекистана предгорья Зеравшанской долины уступают лишь Ферганской долине. В [2] рассматривались селеобразующие синоптические процессы в целом для всей республики. В данной статье на материале наблюдений за период с 1950 по 1985 г. более подробно исследованы аэросиноптические условия, приводящие к формированию селей в Самаркандской, Бухарской, Навоийской и Джизакской областях, расположенных в бассейнах рек Зеравшан и Санзар.

Как и для предгорий Ферганской долины [3], основными селеобразующими синоптическими процессами являются холодные вторжения и образование циклонов в средней и верхней тропосфере. Селевые паводки здесь формируются при западных и северо-западных вторжениях как с предшествующим выходом циклонов (типы 1, 2, 3/10 и 1, 2, 3/5), так и без их выхода (типы 10, 5) [1]. Вероятность прохождения селевых паводков при этих процессах в наиболее селеактивном периоде (с марта по май) составляет 21—25% в первом случае и 8—11% во втором случае. Если в предгорьях Ферганской долины роль северных вторжений и затоков с севера в образовании селевых паводков велика (вероятность их в мае — июне 25—40%), то в предгорьях Зеравшанской долины сели формируются при этих процессах только в мае с вероятностью всего 4% (табл. 1).

При высотном циклогенезе над западными и центральными районами Средней Азии селевые паводки чаще возникают за холодными фронтами южнокаспийских, или мургабских, циклонов (тип 8/1, 2), выходящими под интенсивной высотной фронтальной зоной (ВФЗ), окаймляющей циклон на изобарической поверхности 500 гПа (H_{500}) или за холодным фронтом с запада или северо-запада в тылу этих циклонов (тип 8/10, 5). В более редких случаях селевые паводки формируются непосредственно

Вероятность селевых паводков с различным ущербом народному хозяйству при разных синоптических процессах в предгорьях Зеравшанской долины за 1960—1985 гг.

Тип синоп- тического процесса	Март						Апрель						Май					
	Число синопти- ческих процес- сов			Без ущерба			Число синопти- ческих процес- сов			Без ущерба			Число синопти- ческих процес- сов			Без ущерба		
	с ущем- лом	КО	КОО	с ущем- лом	КО	КОО	с ущем- лом	КО	КОО	с ущем- лом	КО	КОО	с ущем- лом	КО	КОО	с ущем- лом	КО	КОО
1, 2, 3/10	47	4	11	4	2	4	46	9	4	9	4	4	23	4	4	4	4	—
10	26	8		13			34	6	3	18		3	41	10		2	2	
1, 2, 3/5	16						11						5	20		20	20	
5	14						17						28	7		4	7	
1, 2, 3/6	4						1						2	50				
6, 6	5						11						26	4				
8	12						29			4	4	16	24	25				
1, 2, 3, 7/8	19						43			19	5	20	12	33			8	9
8/5, 6, 10	4						10			20	10	20	23	17				
7	32	25	25	3	5	6	28	7	4	14	4	4	20	5				
1, 2, 3	27						20			5		5	6	17				
Всего	159	1	5	5	3	5	204	4	2	12	2	7	187	14	3	2	2	3

Тип синоп- тического процесса	Июнь						Июль						Всего за март — май					
	Число синопти- ческих процес- сов			Без ущерба			Число синопти- ческих процес- сов			Без ущерба			Число синопти- ческих процес- сов			Без ущерба		
	с ущем- лом	КО	КОО	с ущем- лом	КО	КОО	с ущем- лом	КО	КОО	с ущем- лом	КО	КОО	с ущем- лом	КО	КОО	с ущем- лом	КО	КОО
1, 2, 3/10	7			2			59						116	6	6	5	4	6
10	54												101	8	2	1	2	2
1, 2, 3/5	34						38						32	16	3	3	3	3
5													59	3		2		
1, 2, 3/6	31						30						7	14				
6, 6	14						8						42	2				
8	2						10			12		12	65	11				
1, 2, 3, 7/8	12					8							74	16			2	9
8/5, 6, 10	5												37	19			4	14
7													80	8				4
1, 2, 3													53	7				2
Всего	152	1	1	1	1	1	137	1	1	1	1	1	666	9	2	3	4	4

под влиянием самого циклона в его южной или западной частях (тип. 8). Вероятность селевых паводков при высотном циклогенезе и его разновидностях в марте — мае — от 13 до 41% (табл. 2).

В образовании селей большое значение имеет выход южнокаспийских, или мургабских, циклонов перед вторжением или по периферии высотного циклона на изобарической поверхности H_{500} . Почти в 75% всех случаев (дней) с селями, отмечался их выход. За случай принимался день, когда отмечались сели в одном или нескольких саях.

Анализ синоптических процессов и вероятность селей при этих процессах позволил выявить наиболее селеобразующие синоптические процессы в каждом месяце, что отражено в табл. 1, 2.

В феврале за исследуемый период отмечалось всего 2 случая селевых паводков, вызванных выходом южнокаспийского циклона с последующим северо-западным вторжением и волновой деятельностью (табл. 2).

В марте число дней с селями увеличивается до 31. Селевые паводки с вероятностью 21% формируются при выходе южнокаспийских, или мургабских, циклонов с последующим западным вторжением, с вероятностью 13% — с последующим северо-западным вторжением. При других преобладающих синоптических процессах вероятность селей меньше. Велика вероятность (75%) селей при образовании над территорией Средней Азии на изобарической поверхности H_{500} высотного циклона.

Апрель — самый селеактивный месяц на рассматриваемой территории. Вероятность селей при всех осадкообразующих синоптических процессах увеличивается в 2—3 раза в сравнении с мартом. Так, до 47% повышается вероятность их прохождения при высотных циклонах над территорией Туркмении (типы 8 и 1, 2, 7/8) и до 22% — при волновой деятельности (тип 7).

В мае основные селеобразующие синоптические процессы те же, что и в апреле, но число дней с селями и вероятность их при осуществлении синоптических процессов уменьшается, за исключением северо-западных вторжений, при которых вероятность селей в мае увеличивается до 80%. В июне — июле случаи с селями редки, и с небольшой вероятностью они проходят при высотных циклонах на изобарической поверхности H_{500} и очень редко в июне при западных вторжениях.

За период с 1950 по 1985 г. четвертая часть селей нанесла ущерб народному хозяйству и достигала критериев опасных и особо опасных явлений (ОЯ, ООЯ). Наибольшая вероятность (13—14%) разрушительных селей — в марте — мае при смещении или образовании над западными и центральными районами Средней Азии циклонов на изобарической поверхности 500 гПа, очерчиваемых одной или несколькими изогипсами (тип 8 и его разновидности), а также с вероятностью 6—10% — при западных и северо-западных вторжениях с предшествующим выходом циклонов.

Таблица 2

Повторяемость (число случаев) селевых паводков (с различным ущербом) при разных синоптических процессах в предгорьях Зеравшанской долины за 1950—1985 гг.

Месяц	Критерий опасности селевого паводка	Тип синоптического процесса										Всего	
		1, 2, 3/10	10	1, 2, 3/5	5	1, 2, 3/6	6	8	1, 2, 3, 7/8	8/5, 6, 10	7		1, 2, 3
Февраль	Без ущерба										1		1
	С ущербом			1									1
	Всего			1							1		2
Март	Без ущерба	3		2	1				1	1	3	5	16
	С ущербом	3								1		2	6
	ОЯ	3											3
	ООЯ	3								1	2		6
	Всего	12		2	1				1	3	5	7	31
Апрель	Без ущерба	8	2	3			1	2	8	2	4	2	32
	С ущербом	5		2					3	1	2		13
	ОЯ	2						1	2			1	6
	ООЯ	2	1						7	2	1	1	14
	Всего	17	3	5			1	3	20	5	7	4	65
Май	Без ущерба	2	4	2	8	1	2	6	3	6	2	1	37
	С ущербом	1	1	2	1					2			7
	ОЯ	1		1					1				3
	ООЯ		1	1	1			1		4			8
	Всего	4	6	6	10	1	2	7	4	12	2	1	55
Июнь	Без ущерба	1	1										2
	С ущербом	1						1	1				3
	ОЯ												
	ООЯ	1											1
	Всего	3	1					1	1				6
Июль	Без ущерба				1								1
	С ущербом							1					1
	ОЯ									1			1
	ООЯ							1					1
	Всего				1			2		1			4
Август	Без ущерба							1					1
Сентябрь	Без ущерба							1					1
Февраль- сентябрь	Без ущерба	13	7	8	10	1	3	10	12	9	10	8	91
	С ущербом	9	2	5	1			2	4	4	2	2	31
	ОЯ	6		1				1	3	1	3	1	16
	ООЯ	5	3	1	1			2	7	7		1	27
	Всего	33	12	15	12	1	3	15	26	21	15	12	165

По положению барических образований на H_{500} можно различить четыре следующих типа полей в дни с разрушительными селевыми паводками:

1. Ультраполярная ложбина, ось которой западнее 60-го меридиана. В ложбине может быть циклон. Над центральными районами Средней Азии интенсивная высотная фронтальная зона ВФЗ.

2. Замкнутый циклонический вихрь на H_{500} над Устьюртом и западными районами Туркмении (центры циклонов расположены между 50 и 60° в. д. и 35 и 45° с. ш. Над центральными районами интенсивная высотная фронтальная зона.

3. Циклон на H_{500} в районе Тахтабазара — Чарджоу.

4. Над Средней Азией планетарная высотная фронтальная зона (ПВФЗ) в западном или юго-западном направлениях.

Проведенный анализ синоптических процессов 33 случаев (дней) с селями, зарегистрированных в верховьях Зеравшана на территории Таджикистана, за 1950 — 1985 гг. показал следующее. Сели здесь проходят с марта по август, с наибольшей повторяемостью в мае и июле. Селеформирующие синоптические процессы в основном те же, что и для предгорий Ферганской долины. В марте — апреле основную роль в формировании селей играют выходы циклонов с юга и юго-запада с последующим западным вторжением или выходы этих циклонов под фронтальной зоной, окаймляющей высотные циклоны на H_{500} над центральными и восточными районами Средней Азии.

В мае — августе сели возникают при вторжениях с северо-запада и севера, холодные фронты расположены в передней части высотных ложбин над востоком Средней Азии или при высотных циклонах на 500 гПа, центры которых находятся восточнее 60° в. д.

Выше было показано, что селевые паводки в предгорьях долин рек Зеравшан и Санзар формируются в основном при западных и северо-западных вторжениях и высотных циклонах на H_{500} над западными и центральными районами Средней Азии. Для этих процессов на основе дискриминантного анализа получен метод прогноза селевой опасности в этом районе с заблаговременностью от 12 ч до 2 сут в зависимости от синоптического процесса.

Основные положения метода прогноза селевой опасности с привлечением аэросиноптических данных достаточно полно освещены в [4]. Прогноз селевой опасности в крупном селеактивном районе дается по дискриминантным функциям, полученным на основе статистического анализа и выбора физически обоснованных предикторов. Наиболее показательными для формирования селей оказались термогигрометрические характеристики теплых и холодных воздушных масс при вторжениях и значения температуры и влажности в передней части циклона при высотном циклогенезе над Средней Азией. Эти характеристики выбирались на стандартных изобарических поверхностях 850, 700 и 500 гПа.

Для прогноза селевой опасности в рассматриваемом районе получено несколько видов дискриминантной функции. Здесь приводится одна из них

$$V(x) = 4,28 - 0,123 \sum_{850}^{500} (T - Td)_{т.м} - 0,131 \sum_{850}^{500} (T - Td)_{х.м} + \\ + 0,24 T_{к850 т.м} + 0,048 \sum_0^3 X_{увл}, \quad (1)$$

где $\sum_{850}^{500} T - Td$ — суммарный дефицит влажности в слое 850 — 500 гПа теплой воздушной массы перед фронтом (т. м) и холодной воздушной массы (х.м) за фронтом; $T_{к850 т.м}$ — температура конденсации воздуха перед фронтом сухоадиабатически поднимающегося с уровня 850 гПа до уровня конденсации; $\sum_0^3 X_{увл}$ — сумма осадков (максимальная из наблюдаемых в бассейне) за три дня, предшествующие формированию селевых паводков.

Пороговое значение $R=0$. Селевая опасность ожидается, если значение функции $v(x) > 0$. На обучающей выборке оправдываемость прогнозов $P=90\%$, показатель успешности $Q=0,82$, критерий успешности метода по сравнению со случайным прогнозом $H=0,82$. На независимой выборке соответственно $P=87\%$, $Q=0,82$, $H=0,73$. Помимо дискриминантных функций, прогноз селевой опасности можно составить по графику с двумя наиболее информативными предикторами. На рис. 1 дано графическое представление дискриминантной функции

$$V(x) = 2,039 + 0,37 T_{к850 т.м} - 0,19 \sum_{850}^{500} (T - Td)_{х.м}. \quad (2)$$

Для разработки метода прогноза селевой опасности в предгорьях рек Зеравшан и Санзар при высотных циклонах на H_{500}

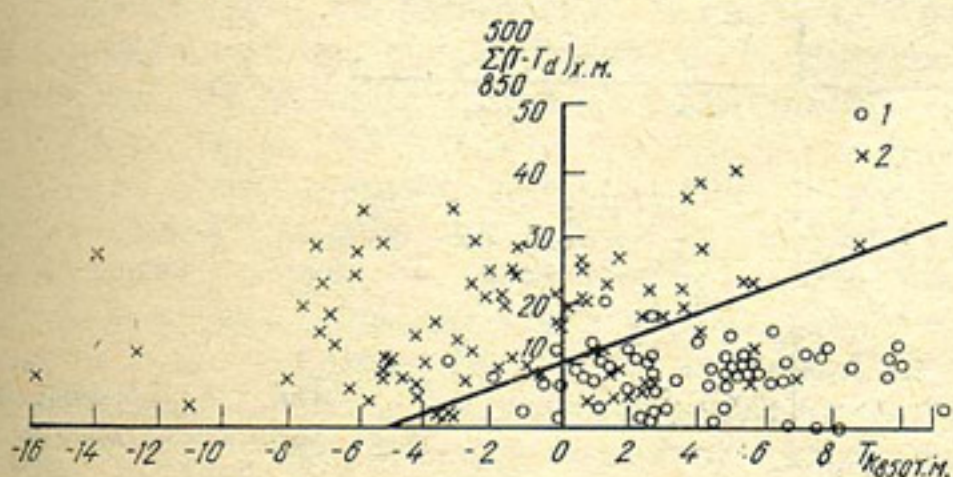


Рис. 1. Графическое представление дискриминантной функции (2) для прогноза селевой опасности при холодных вторжениях:

1 — случай с селями, 2 — случай без селей

был использован тот же набор предикторов, что и для предгорий Ферганской долины [4], только значения термогигрометрических характеристик воздушных масс выбирались по данным радиозондирующих станций, расположенных ближе к Зеравшанской долине, а именно Чарджоу или Ташкент.

Пошаговый перебор всех предикторов показал, что наибольшее влияние на образование селей оказывают следующие предикторы: $T_{к850}$ — температура конденсации водяных паров воздуха, поднимающихся с уровня 850 гПа до уровня конденсации; T_{500} — температура на изобарической поверхности 500 гПа; $\sum_{500}^{850} T - Td$ — суммарный дефицит точки росы в слое 850 — 500 гПа;

ΔH — разность геопотенциала в центре циклона и на его периферии. Все характеристики взяты в передней части циклона.

На основе выбранных информативных предикторов построена дискриминантная функция для прогноза селевой опасности при высотном циклогенезе

$$V(x) = 5,183 + 0,438 T_{к850} + 0,27 T_{500} - 0,028 \sum_{850}^{500} (T - Td) + 0,015 \Delta H, \quad (3)$$

где на зависимой выборке $P=90\%$, $Q=0,86$, $H=0,80$; на независимой выборке $P=80\%$, $Q=0,75$, $H=0,55$. Заблаговременность прогноза 12 — 24 ч.

Прогноз селевой опасности при высотных циклонах можно давать также по графику (рис. 2), построенному на основании уравнения с двумя предикторами

$$V(x) = 4,059 + 0,499 T_{к850} + 0,234 T_{500}. \quad (4)$$

Метод прогноза селевой опасности проходит производственные испытания в отделе гидропрогнозов Гидрометеорологического центра Узбекского УГКС. В 1986 г. оправдываемость прогнозов селевой опасности при холодных вторжениях составила 95%; из

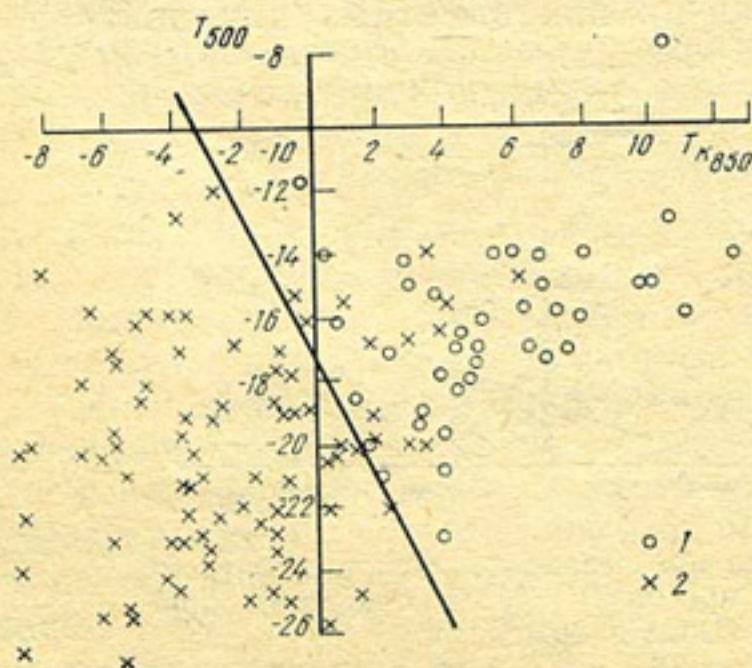


Рис. 2. Графическое представление дискриминантной функции (4) для прогноза селевой опасности при высотном циклогенезе над Средней Азией:
1, 2 см. рис. 1

22 прогнозов не оправдался один. При высотном циклогенезе оправдываемость 70%, из 10 прогнозов не оправдалось три, причем в двух случаях были сильные осадки, но сообщений о селях не поступило.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугаев В. А., Джорджио В. А. Синоптические процессы Средней Азии. — Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1957. — 477 с.
2. Ляховская Л. Ф. Анализ физико-географических, метеорологических и синоптических условий распространения селей на территории Узбекистана. — Труды САНИИ Госкомгидромета, 1986, вып. 119(200), с. 65 — 71.
3. Салихова Д. Х. Аэросиноптические условия формирования разрушительных селевых паводков в предгорьях Ферганской долины. — Труды САНИИ Госкомгидромета, 1986, вып. 119(200), с. 72 — 74.
4. Салихова Д. Х., Ляховская Л. Ф. Метод прогноза селевой опасности в предгорьях Ферганской долины. — Труды САНИИ Госкомгидромета, 1986, вып. 119(200), с. 75 — 78.

Л. Ф. ЛЯХОВСКАЯ

СЕЛЕВАЯ ОПАСНОСТЬ В ТАШКЕНТСКОЙ ОБЛАСТИ И ЕЕ КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ

Селеактивная зона Ташкентской области представлена предгорным и среднегорным районами бассейнов рек Чирчик (зона 1600 — 3100 м над ур. м. и Ахангаран (зона 1200 — 2500 м).

Предгорья и горы Ташкентской области интенсивно осваиваются человеком: строятся гидроэлектростанции, развивается горнорудная промышленность, расширяется сеть спортивно-оздоровительных лагерей и зон отдыха трудящихся, строятся транспортные магистрали, широко развит туризм.

В селеопасных районах области проводятся активные противоселевые мероприятия — лесомелиоративные работы (например, в урочище Акташ), которые снижают опасность возникновения селей, но не ликвидируют ее полностью. В связи с этим необходим прогноз и своевременное предупреждение о селевой опасности, которые если не обеспечат полное предотвращение ущерба, то позволят принять меры для его сокращения.

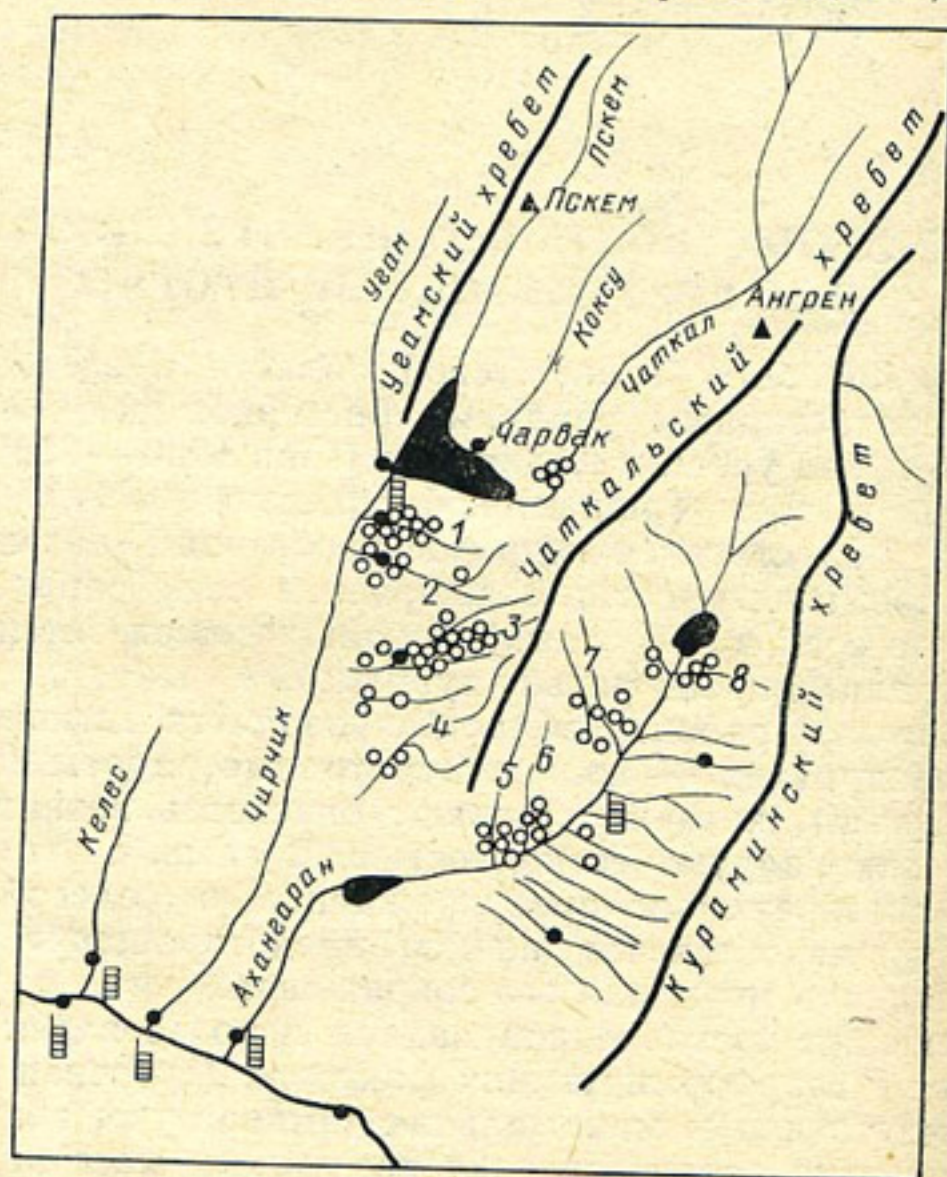
Для решения поставленной задачи использовался архив данных о селях и селеформирующих факторах (суточная сумма осадков, среднесуточная и минимальная температуры воздуха, термогигрометрические характеристики воздушных масс над бассейном перед фронтом и за холодным фронтом) за период 1950 — 1985 гг.

Таким образом, с целью использования наиболее информативных предикторов для прогноза селевой опасности обобщены материалы наблюдений за тридцатилетний период. Всего за рассматриваемый период в Ташкентской области наблюдалось 76 селевых паводков, из которых 51 приходится на бассейн р. Чирчик и 25 — на бассейн р. Ахангаран.

В бассейне Чирчика наиболее селеопасными являются р. Паркентсай (10 селей), Каранкульсай (10 селей), Акшай (5 селей) и Аксакатасай, стекающие с северо-западного склона Чаткальского хребта (рисунок).

В бассейне р. Ахангаран наиболее селеактивным является юго-западный склон Чаткальского хребта между городами Ахангаран и Ангрен, где особенно выделяются с.и. Дукентсай, Карабау и Акча. Северо-западный склон Кураминского хребта менее селеактивен, здесь можно отметить только случаи прохождения селей в саях Наугарзан и Шаугазсай. Всего в Ташкентской области выделено 179 селевых бассейнов — 104 в бассейне р. Чирчик и 75 в бассейне р. Ахангаран [1].

Долины Чирчика и Ахангарана открыты навстречу влажным воздушным массам, приходящим с запада и юго-запада, поэтому здесь на склонах вблизи гребней гор выпадает до 1500 мм осадков.



I II III IV

Орогидрографическая схема Ташкентской области:
I — гидростворы, II — место прохождения селя,
III — основные гидростворы, IV — метеостанции;
реки:

1 — Каранкульсай, 2 — Аксакатасай, 3 — Паркентсай,
4 — Кызылсай, 5 — Шавазсай, 6 — Акча, 7 — Дукент-
сай, 8 — Наугарзан

осадков. Из-за прочности пород, слагающих горные склоны, и обильной растительности селевая деятельность в предгорьях Ташкентской области развита слабее, чем она могла бы быть при таком количестве выпадающих в весенне-летний период осадков.

В предгорьях Ташкентской области за период март — август 1950 — 1985 гг. отмечалось 58 случаев с селями (за случай принимались сутки, когда сели были хотя бы в одном бассейне). В основном сели формируются в апреле — мае (38 и 33% соответственно), в марте они наблюдались в 12%, а в июне — августе всего в 5—7% случаев от общего их числа за рассматриваемый период. Селевые паводки в 63% случаев проходят, не нанося ущерба ирригационной сети, населенным пунктам или сельскому хозяйству. Только в 12% случаев сели по нанесенному ущербу достигают критериев опасных (ОЯ) и особо опасных (ООЯ) явлений. Разрушительные сели формируются в основном в апреле и в редких случаях в другие месяцы селеопасного периода (таблица). Сели с большим ущербом (ОЯ и ООЯ) проходят в основном по Паркентсаю и в бассейне Ахангарана. В самом бассейне Чирчика только третья часть селей наносит незначительный ущерб. В 40% случаев сели отмечались одновременно в бассейнах Чирчика и Ахангарана, особенно это относится к селям, вызывающим большие повреждения. В случаях катастрофических селей, как 8 апреля 1959 г., они отмечались по многим саям обоих бассейнов. Из 58 сут с селями в 11 случаях (или 19%) селевой деятельностью были охвачены одновременно многие сая Ташкентской области.

Больше всего случаев селей в год (4—5 случаев) отмечалось в многоводные годы: 1951, 1958, 1963, 1969, а в маловодные годы селей не наблюдалось совсем [2]. Селевые потоки в Ташкентской области образуются чаще всего во время ливней. Лишь в единичных случаях они формируются дождевыми и тальными водами. Сели по типу наносоводные.

Согласно данным об осадках по 13 станциям и постам в Ташкентской области средний слой осадков за сутки, в которые сформировался сел, составил 32 мм, а увлажненность склонов, косвенно характеризруемая суммой осадков, выпавших за предшествующие селю трое суток, в среднем 15 мм. Из всех исследованных областей республики Ташкентская область характеризуется наибольшим средним слоем осадков и увлажненностью склонов, а вероятность селевых паводков при выпадении значительных осадков здесь наименьшая. В самый селеактивный период (апрель — май) вероятность формирования селевых паводков при выпадении осадков в 20 мм за сутки не превышает 20%. В предгорьях Ферганской долины при таком количестве осадков вероятность селевых паводков достигает 45% [3].

Минимальная температура воздуха, при которой отмечались сели, не опускалась, по данным метеостанции Пскем (1260 м над ур. м.), ниже 1°C — в марте 1969 г. и апреле 1962 г., когда

**Повторяемость (число случаев) селевых паводков с различным ущербом
в бассейне рек за 1950—1985 гг.**

Месяц	Характеристика опасности селей	Чирчик	Паркент-сай	Ахан-гаран	Всего
Март	Без ущерба С ущербом	2(1) 1	1	2 2(1)	4(1) 4(1)
Апрель	Без ущерба С ущербом ОЯ ООЯ	11(3) 4(2)	1 1(1) 1(1) 1	4(2) 2(1) 3(2) 2(1)	16(5) 7(4) 4(3) 3(1)
Май	Без ущерба С ущербом ОЯ ООЯ	8(2) 3(1)	1 1	5(2) 2(1)	14(4) 5(2)
Июнь	Без ущерба С ущербом ОЯ ООЯ	2	1	1	3 1
Июль	Без ущерба С ущербом ОЯ ООЯ	1		1 1	2 1
Август	Без ущерба С ущербом	1	2		2 1
Всего за март—август	Без ущерба С ущербом ОЯ ООЯ	23(6) 10(3)	5 2(1) 1(1) 2	11(4) 7(3) 4(2) 2(1)	39(10) 19(7) 5(3) 4(1)
	Всего	33(9)	10(2)	24(10)	67(21)

Примечание. В скобках—число случаев селей, прошедших одновременно в одном из соседних бассейнов.

выпало в первом случае 55 мм осадков, а во втором — 50 мм при предшествующих им осадках соответственно 25 и 54 мм.

Исследование Д. Х. Салиховой аэросиноптической обстановки каждого случая прохождения селевого паводка показало, что для предгорий Ташкентской области основными селеобразующими процессами являются западные и северо-западные вторжения, а также образование высотных или высоких циклонов и их разновидностей. В более редких случаях формирование селей может быть вызвано северными вторжениями.

Опыт предыдущих работ [4] дал направление для разработки метода прогноза селевой опасности в Ташкентской области. Использовался прием дискриминантного анализа. Метод прогно-

за разрабатывался для случаев селевой опасности при северо-западных вторжениях. Архив для машинной обработки подобран с 1960 по 1981 г. Всего при этих синоптических процессах было 26 случаев с селями и 56 случаев без селей. Для отбора наиболее информативных предикторов использовался массив из 19 характеристик воздушной массы и одной характеристики увлажнения склонов. Массив состоял из характеристик теплой воздушной массы (т. м) по данным радиозондирования атмосферы в Ташкенте и холодной воздушной массы (х. м) по данным радиозондирования атмосферы в Ашхабаде, а при их отсутствии — по данным Чарджоу или Тамды на стандартных изобарических поверхностях 850, 700 и 500 гПа. В него вошли: температура воздуха (T), температура точки росы (Td), дефицит точки росы ($T - Td$), высота уровня конденсации (H), температура на уровне конденсации (T_k), суммарный дефицит точки росы в слое 850 — 500 гПа ($\sum_{850}^{500} (T - Td)$), разность температуры воздуха в слое

850 — 500 гПа (ΔT_{850}^{500}), разность дефицитов точки росы в слое 850 — 500 гПа ($\Delta (T_{т.м} - T_{х.м})$), разность температуры воздуха на трех поверхностях в теплой и холодной воздушных массах ($\Delta (T_{т.м} - T_{х.м})$).

В качестве характеристики увлажнения склонов взята сумма осадков за трое суток до прогноза селевой опасности по станции с максимальными осадками в Чирчик-Ахангаранском бассейне.

В результате статистического анализа [2] определены характеристики воздушных масс, наилучшим образом описывающие условия формирования селей в Ташкентской области при холодных вторжениях. Этими предикторами оказались: суммарный дефицит точки росы в теплой воздушной массе ($\sum_{850}^{500} (T - Td)_{т.м}$), который оказывает влияние на интенсивность осадков (чем влажнее воздух перед фронтом, тем обильнее осадки при прохождении фронта); суммарный дефицит точки росы в холодной воздушной массе ($\sum_{850}^{500} (T - Td)_{х.м}$), характеризующий влажность приходящей воздушной массы; увлажненность склонов ($\sum X_{увл}$) и температура конденсации на высоте 1,5 км в холодной воздушной массе, определяющая вид ожидаемых осадков.

Информативность предикторов определялась по критерию различия Фишера:

$$NR_i = \left| \frac{\bar{X}_{i_1} - \bar{X}_{i_2}}{\sigma} \right|, \quad (1)$$

где NR_i — критерий различия Фишера; $\bar{X}_{i_1}$ — среднее значение i -го предиктора в первом классе (классе с селями); $\bar{X}_{i_2}$ — среднее значение i -го предиктора во 2-м классе (без селей); σ —

среднее двух классов среднеквадратическое отклонение значений i -го предиктора.

Выбранные предикторы имеют критерии различия в классах $NR=0,72-1,16$ и практически независимы между собой в обоих классах $|r|=0,35 \div 0,01$; лишь характеристика увлажнения склонов и суммарный дефицит точки росы в холодной массе зависимы $|r|=0,59$.

Построены две дискриминантные функции:

$$V(x)_1 = 2,72 - 0,076 \sum_{850}^{500} (T - T_d)_{т.м} - 0,083 \sum_{850}^{500} (T - T_d)_{х.м} + 0,03 \sum X_{увл} \quad (2)$$

$$V(x)_2 = 2,72 - 0,095 \sum_{850}^{500} (T - T_d)_{т.м} + 0,185 T_{к850х.м} - 0,063 \sum_{850}^{500} (T - T_d)_{х.м}. \quad (3)$$

Критерий различия $NR_{V(x)_1}=1,42$ и $NR_{V(x)_2}=1,50$. Критерий успешности использования метода по А. М. Обухову равен $0,52-0,81$, а по Н. А. Багрову — $0,52-0,58$.

Оправдываемость прогнозов по этим дискриминантным функциям на обучающей выборке составляет 76%, а на независимой, по данным о селях за 1982—1985 гг. (5 случаев селей и 26 случаев без селей), — 84—81% соответственно. Предупрежденность явлений составляет 76—100%. Заблаговременность прогноза — сутки.

Оценки метода и оправдываемости прогнозов на независимом материале вполне удовлетворяют требованиям гидропрогнозов. Методом можно пользоваться при составлении предупреждений о селевой опасности в предгорьях Ташкентской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабко В. Л. Селевые явления в Узбекистане. — Тезисы докладов XV Всесоюзной научно-технической конференции по противоселевым мероприятиям. Ташкент, 27—29 сентября 1978 г., М., 1978, с. 78—81.
2. Ляховская Л. Ф. Анализ физико-географических, метеорологических и синоптических условий распространения селей на территории Узбекистана. — Труды САННИ Госкомгидромета, 1986, вып. 119(200).
3. Салихова Д. Х. К вопросу о метеорологических условиях возникновения селевых паводков в адрах и предгорьях Ферганской долины. — Труды САННИГМИ, 1975, вып. 24(105), с. 61—65.
4. Салихова Д. Х., Ляховская Л. Ф. Метод прогноза селевой опасности в предгорьях Ферганской долины. — Труды САННИ Госкомгидромета, 1986, вып. 119(200), с. 75—78.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА ШУГОНОСНЫХ РЕКАХ

Эффективная эксплуатация в зимнее время р. Амударьи как важнейшей воднотранспортной и оросительной артерии Средней Азии невозможна без надежных знаний о предстоящей ледовой обстановке, о сроках установления на реке ледяного покрова [1]. За последние два десятилетия в связи с вводом в строй крупных гидротехнических сооружений, таких как Тюямуюнский и Тахияташский гидроузлы, существенно изменился гидрологический и ледовый режим Амударьи. Эти изменения, сделав невозможным использование прежних статистических методик, потребовали разработки новых прогностических приемов и методов.

В САНИИ была создана модель ледообразования, в основу которой положена система уравнений тепломассообмена. Для более полной оценки ледовой обстановки необходимо дополнить расчетную схему описанием процесса установления ледяного покрова.

Описание процесса замерзания реки должно включать в себя описание взаимодействия речного потока с движущейся шугой, гидравлики потока под ледяным покровом и процессов, происходящих на его кромке. Большинство существующих методов расчета взаимодействия речного потока с руслом и ледяным покровом основаны на определении коэффициентов шероховатости нижней поверхности ледяного покрова, приведенного коэффициента шероховатости или зимнего коэффициента. Все эти методы требуют нестандартных материалов наблюдений стационарной сети (например, наблюдения за уклонами водной поверхности в период установления ледяного покрова). Из-за отсутствия надежной информации о распределении по длине морфометрических характеристик, коэффициентов шероховатости русла и нижней поверхности шуголедяного покрова использование уравнений движения неоправданно. В этих условиях наиболее целесообразным является установление достаточно простых соотношений, позволяющих оценить необходимые гидравлические характеристики: скорость потока, скорость перемещения кромки, подъемы уровней с привлечением минимального объема имеющейся стандартной информации с сети гидрометеорологических станций.

Для расчета коэффициента шероховатости русла n (или приведенного коэффициента шероховатости) для участков с установившимся ледяным покровом используется формула Шези—Маннинга

$$n = \frac{R_0^{2/3} i_0^{1/2}}{V_0}, \quad (1)$$

где R_0 , i_0 и V_0 — соответственно гидравлический радиус, уклон и скорость водного потока в начальный момент времени.

Далее принимаются два допущения: 1) коэффициент шероховатости русла на данном участке за расчетный отрезок времени (несколько суток) не меняется; 2) шероховатость нижней поверхности ледяного покрова принимается равной шероховатости русла. Первое допущение не вносит заметных погрешностей в расчет, второе же, вынужденное допущение, может привести к ошибкам. Однако более тонкие способы учета шероховатости льда применительно к условиям Амударьи требуют постановки специальных экспериментальных исследований.

В каждый последующий момент скорость течения рассчитывается по той же формуле Шези — Маннинга

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} i^{1/2}, \quad (2)$$

где $R = H$ при свободном русле и $R = H/2$ при ледоставе, H — глубина потока.

Таким образом, при этом подходе предполагается, что причиной изменения скорости течения является не увеличение приведенного коэффициента шероховатости, а уменьшение вдвое гидравлического радиуса при установлении ледяного покрова. Это неполное описание причин изменения гидравлического режима при движении льда приводит к заниженным по сравнению с фактическими подъемам уровней воды. Однако, если решать задачу описания не всего гидравлического режима реки при ее замерзании, а лишь расчета перемещения кромки ледостава, то такой способ описания скорости течения оказывается приемлемым.

Замерзание Амударьи, как и многих других шугоносных рек, происходит продвижением кромки льда вверх по течению за счет всплывающей шуги. Движущаяся шуга, подходя к кромке, частично останавливается, частично уносится под лед. Остановка и последующее смерзание шуги в ледяном покрове обеспечивает продвижение кромки льда вверх. Для расчета скорости движения кромки льда V_k можно получить следующее соотношение:

$$V_k = V_{\Pi} \frac{kp}{1 - kp}, \quad (3)$$

где V_{Π} — поверхностная скорость течения, k — коэффициент упаковки шуги в ледяном покрове, p — плотность шугохода в долях от единицы. Величина коэффициента упаковки k есть отношение $dS_{\text{л}}/dS_{\text{ш}}$, где $dS_{\text{ш}}$ — суммарная площадь шуги, сформировавшая ледяной покров $dS_{\text{л}}$.

Для расчета коэффициента уплотнения шуги в ледяном покрове была получена зависимость его от средней за расчетный период температуры воздуха. Характер полученной зависимости физически обусловлен. При сравнительно высоких температурах воздуха (не ниже -12°C) рассматриваемый параметр меняется незначительно. Начиная с -12°C и до -15°C значение коэффи-

коэффициента уплотнения резко возрастает, что свидетельствует о появлении большого числа ледяных перемычек на реке, т. е. о скачкообразном перемещении кромки. Последующие попытки уточнения указанной зависимости выявили ее недостаточную устойчивость при расчетах за короткие интервалы времени (сутки и меньше). Помимо этого резкая ее нелинейность отрицательно сказывается и на устойчивости результатов расчета перемещения кромки льда. На рис. 1 видны расхождения расчетных и наблюдаемых перемещений кромки льда, вызванные недостаточной точностью и неполнотой найденной зависимости коэффициента уплотнения только от температуры воздуха.

Поскольку выявленные соотношения между характеристикой уплотнения шуги в ледяном покрове и гидрометеорологическими факторами не позволили с достаточной точностью рассчитать перемещение кромки льда, была предпринята попытка установить зависимость от температуры воздуха не коэффициента уплотнения, а произведения kp . Искомое значение kp определялось по формуле

$$kp = \frac{1}{1 - \frac{V_{II}}{V_K}}. \quad (4)$$

Анализ средних и поверхностных скоростей течения за период, предшествующий установлению ледяного покрова, показал их значительную изменчивость при сравнительно небольших колебаниях уровней воды, поэтому при невозможности достоверного определения значений поверхностной скорости целесообразно было задать ее постоянной. В этом случае, подставляя в формулу (4) значения V_K , аналитически заданные в зависимости от

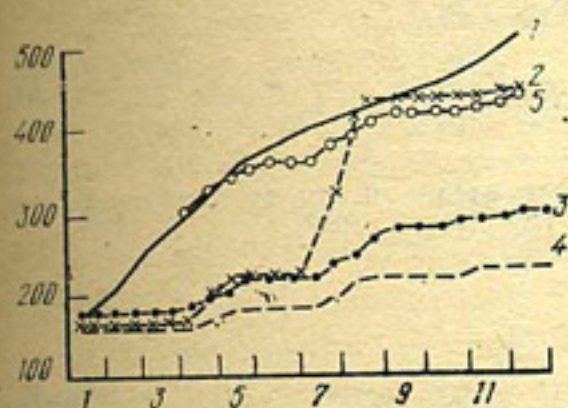


Рис. 1. Измеренные и рассчитанные перемещения кромки ледостава в январе 1972 г.:

1 — данные наблюдений; 2 — 4 — варианты расчетов при различной аппроксимации $k=f(t_v)$; 5 — начало расчетов с 4 I; ось ординат — расстояние от устья L , км

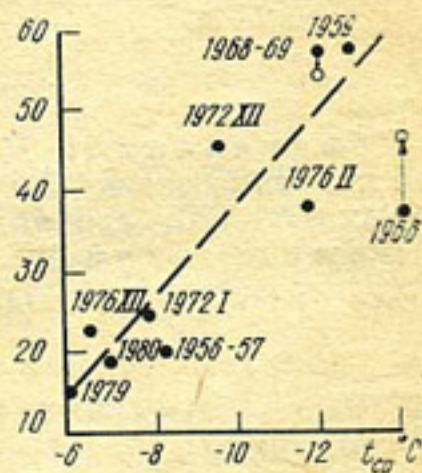


Рис. 2. Зависимость скорости перемещения кромки на участке Чатлы — Тюямуюн от средней температуры воздуха за период замерзания (без учета первого и последнего дня)

температуры воздуха (рис. 2), получаем соотношение для расчета $kp=f(t)$, аппроксимированное формулой

$$kp = \begin{cases} -0,57t - 0,18 & \text{для } -8^{\circ}\text{C} \leq t \leq -4^{\circ}\text{C}, \\ -0,029t + 0,03 & \text{для } -15^{\circ}\text{C} \leq t < -8^{\circ}\text{C} \end{cases} \quad (5)$$

и используемое далее для расчета перемещения кромки ледостава.

Для Амударьи характерно формирование чередующихся участков сплошного и прерывистого ледостава, длина свободных ото льда участков колеблется от нескольких сот метров до нескольких километров. Подобного рода процессы удобно описывать введением некоторых критических параметров. В качестве такого параметра выбрано критическое значение густоты шугохода $\rho_{кр}$. На возможность резкого увеличения вероятности образования перемычек при превышении значений густоты шугохода ρ некоторого критического значения ($\rho_{кр} = 0,80 \div 0,82$) указывал Р. А. Нежиховский [2].

Таким образом, перемещение кромки ледяного покрова в случаях формирования как сплошного, так и прерывистого ледостава рассчитывается с использованием следующих соотношений

$$\Delta L = \begin{cases} V_{\pi} \frac{kp}{1 - kp} \Delta t & \text{при } \rho < \rho_{кр}, \\ L - L_0 & \text{при } \rho \geq \rho_{кр}, \end{cases} \quad (6)$$

где L_0 — исходное положение кромки льда; L — верхняя по течению реки точка, где $\rho \geq \rho_{кр}$; Δt — промежуток времени, за который рассчитывается перемещение кромки.

Проверка метода прогноза перемещения кромки ледостава на независимой выборке показала, что для прогнозов заблаговременностью от 1 до 3 сут оправдываемость метода составляет 74%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абраменков Н. М., Агальцева Н. А. Расчет некоторых характеристик замерзания Амударьи. — Труды САННИ Госкомгидромета, 1981, вып. 89(170), с. 109 — 114.
2. Нежиховский Р. А. Расчеты и прогнозы стока шуги и льда в период замерзания рек. — Труды ГГИ, 1963, вып. 103, с. 3 — 40.

Ф. Э. РУБИНОВА, С. И. ДОРОНИНА, О. З. ХАСАНОВ

ВОДНЫЙ БАЛАНС ТЕРРИТОРИИ БАССЕЙНА р. ЗЕРАВШАН (ЗОНА ВЛИЯНИЯ АМУ-БУХАРСКОГО КАНАЛА)

Аму-Бухарский канал орошает земли, расположенные в нижнем течении р. Зеравшан (ниже Шафирканского гидроузла). В административном отношении — это территория Бухарской и На-

войской областей, включающая Навоийский, Бухарский и Каракульский оазисы.

Водохозяйственное строительство в этих оазисах, направленное на повышение водообеспеченности земель и улучшение их мелиоративного состояния, привело к изменению водного режима территории, количественным выражением которого служит водный баланс

$$X + (Y_n - Y_0) + (V_n - V_0) = E_c + Y_k \pm \Delta V \pm \Delta W + P_{п/к}, \quad (1)$$

где X — атмосферные осадки на поверхность исследуемого региона; $Y_n - Y_0$ — разность между поверхностным притоком в контур и оттоком из него или суммарные затраты речного стока (P); $V_n - V_0$ — разность между подземным притоком и оттоком; E_c — суммарное испарение; Y_k — коллекторный сток за пределы оазиса; ΔV — изменение запасов подземных вод; ΔW — изменение запасов влаги в зоне аэрации; $P_{п/к}$ — затраты на промышленно-коммунальное водопотребление.

Уравнение (1) можно переписать в виде

$$(Y_n - Y_0) + (V_n - V_0) = (E_c - X) + P_{п/к} + Y_k \pm \Delta V \pm \Delta W. \quad (2)$$

Разность между притоком и оттоком поверхностных вод в сумме с результирующей подземного притока и оттока расходуется на суммарное испарение, промышленно-коммунальное безвозвратное водопотребление, сток коллекторно-дренажных вод и пополнение запасов влаги в почвогрунтах.

Водный баланс рассматриваемой территории составлялся по годовым периодам (ноябрь — октябрь) с 1949/50 по 1979/80 гг. Чтобы свести до минимума погрешности расчета отдельных элементов водного баланса и выявить основные закономерности антропогенного изменения структуры затрат стока, результаты расчетов осреднялись по пятилетиям.

Остановимся на методике расчета отдельных элементов водного баланса территории.

Атмосферные осадки на поверхность исследуемых оазисов получены методом среднего взвешенного по данным наблюдений метеорологических станций, расположенных в пределах контура (Самарканд, Каттакурганское водохранилище, Навои, Бухара, Куюмазар, Каракуль).

Поверхностный приток в пределы балансируемого контура осуществляется по руслу р. Зеравшан через Хазаринский створ и по Аму-Бухарскому каналу, водозабор в который фиксируется в головном сооружении канала. Поверхностный отток за пределы бассейна Зеравшана отсутствовал вплоть до конца 70-х годов, когда был прорыт магистральный коллектор из оз. Соленого в р. Амударью. Подземный приток в пределы контура оценивается в пределах 1,5—1,9 м³/с, а отток — соответственно в 2,0 и 2,6 м³/с [4, 7]. В расчеты приняты более поздние проработки [4], согласно которым разность ($V_n - V_0$) составляет 0,7 м³/с.

Оценка суммарного испарения с поверхности исследуемых оазисов бассейна Зеравшана — одно из самых слабых мест в водобалансовых расчетах. Испарение с орошаемого массива определяется большим числом факторов, из которых основными являются тепловые и водные ресурсы, вид подстилающей поверхности, глубина залегания грунтовых вод и т. д. Поскольку доминирующей культурой в орошаемом земледелии бассейна р. Зеравшан является хлопчатник (60—70% поливных площадей), наибольший интерес представляет измерение и расчет испарения с полей, занятых этой культурой.

Ю. Н. Ивановым разработан метод, основанный на использовании информации стандартной метеорологической сети, расположенной в пределах орошаемой зоны [1]. Метод позволяет по серии графиков определить месячные суммы испарения с хлопчатника по средним месячным величинам температуры и абсолютной влажности воздуха. Репрезентативность расчетов по методу Иванова для бассейна р. Зеравшан анализировалась по данным экспедиции Узбекского УГКС и САНИИ, проведенной в вегетационный период 1981 г. в районе Куюмазарского водохранилища. Испарение рассчитывалось по ежедекадным сериям тепловых балансовых наблюдений на хлопковом поле, расположенном в 6 км на юго-запад от ГМС Куюмазар за май — сентябрь 1981 г. (табл. 1).

Несмотря на то что метод Иванова дает суммарное испарение за сутки, а тепловым балансом наблюдалось лишь дневное, второе, как правило, выше первого. Особенно велика разница в июне, когда наблюденное испарение превышало рассчитанное на 58 мм (табл. 1). Однако в этом случае большие сомнения в достоверности вызывает наблюденное значение, а не рассчитанное. Весь предыдущий опыт измерения испарения с хлопчатника в других районах, в том числе более водообеспеченных и расположенных

Таблица 1

Сопоставление рассчитанных и наблюденных месячных значений испарения (мм) с хлопкового поля

Метод оценки	Сумма испарения					
	V	VI	VII	VIII	IX	V—IX
Испарение, рассчитанное по методу Иванова	123	143	228	210	160	864
Испарение наблюденное (тепловой баланс)	126	201	196	215	189	927
Разность между наблюденным и рассчитанным значениями испарения	3	58	—32	5	29	63

южнее, показывает, что испарение в июне, равное 200 мм, мало вероятно, что достаточно наглядно подтверждается данными табл. 1 в [1].

Некоторое превышение фактически наблюдаемых величин над рассчитанными связано, вероятно, с влиянием переноса влаги с Куюмазарского водохранилища, так как теплобалансовая площадка находилась достаточно близко от акватории водохранилища. Однако и в этом случае в целом за май — сентябрь разница в расчетном и наблюдаемом испарениях не превышает 7%. Это дает основание считать возможным применять метод Иванова для расчета испарения с хлопковых полей в пределах бассейна р. Зеравшан.

Помимо хлопчатника в бассейне р. Зеравшан выращиваются другие культуры, имеющие, как правило, подчиненное значение в хлопководческой зоне. Испарение с их поверхности определено по переходным коэффициентам, представляющим собой отношение испарения исследуемой культурой к испарению хлопчатником [5].

По данным о структуре орошаемых площадей и с помощью этих коэффициентов получены величины испарения с комплексного орошаемого гектара.

Суммарное испарение (E_c) с поверхности ирригационных районов складывается из испарения с орошаемых земель и перелогов. Площадь последних определена по разности

$$F_{\Pi} = F_{\Sigma} - F_{\text{н}}, \quad (3)$$

где F_{Π} — площадь перелогов; $F_{\text{н}}$ — орошаемая площадь-нетто; F_{Σ} — площадь-брутто, равная частному от деления $F_{\text{н}}$ на коэффициент земельного использования (КЗИ)

$$F_{\Sigma} = F_{\text{н}} / \text{КЗИ}. \quad (4)$$

Испарение с перелогов принято, согласно рекомендации [6], равным среднему между испарением с орошаемого поля и богары.

Часть стока, поступающего в балансируемый контур по Зеравшану (через Хазаринский створ) и Аму-Бухарскому каналу, расходуется на промышленные и коммунально-бытовые нужды. На уровне 1980 г. этот вид затрат стока составил около 7% суммарной водоподачи в контур [2]. В первом приближении можно принять, что и в предыдущие годы затраты на промышленное и коммунально-бытовое водопотребление не превышали 7% суммарного водозабора.

Затраты стока на заполнение Тудакульского водохранилища приняты по данным института «Узгипроводхоз».

Изменение запасов грунтовых вод рассчитывалось по уравнению

$$\Delta V = \mu \Delta H_w, \quad (5)$$

где ΔV — изменение запасов грунтовых вод за расчетный интервал времени; μ — коэффициент водовместимости пород, рав-

ный 0,12 [3]; ω — валовая площадь в пределах балансируемого контура; ΔH — изменение уровня грунтовых вод, равное

$$\Delta H = H_i - H_{i+1}, \quad (6)$$

где H_i — средневзвешенный по площади уровень грунтовых вод на начало расчетного периода, H_{i+1} — то же на начало следующего периода.

Сведения о средневзвешенных уровнях грунтовых вод в разрезе административных районов Бухарской области приняты по данным Бухарского областного управления оросительных систем (облУОС) за период 1970—1980 гг. За более ранние годы (1965—1969 гг.) они были восстановлены по связи

$$H_{\text{срвзв}} = aH_x + b, \quad (7)$$

где $H_{\text{срвзв}}$ — средневзвешенный по площади уровень грунтовых вод; H_x — уровень грунтовых вод в репрезентативной скважине (по данным Узбекского гидрогеологического треста); a и b — параметры уравнения.

Результаты расчетов показали, что изменением запасов влаги в зоне аэрации при принятой разрезке года (с ноября по октябрь) и сравнительно неглубоком залегании уровня грунтовых вод можно пренебречь.

Коллекторно-дренажный сток за пределы орошаемой зоны оценивался по данным Бухарского облУОСа.

Планомерное строительство современной магистральной сети коллекторов начато в 60-е годы; большинство из них доведены до водоприемников во второй половине 60-х годов; сведения о коллекторном стоке имеются с 1965/66 г. (табл. 2).

В конце 70-х годов коллекторный сток из бассейна р. Зеравшан по Главному Бухарскому коллектору стал поступать в русло Амударьи в районе пос. Наргиз. Количественные оценки этого стока на выходе из оз. Соленого в 1981—1984 гг. получены по данным экспедиций САНИИ и УзУГКС в размере от 1,8 до 44,3 м³/с. Главный Бухарский коллектор (ГБК) выводит воду из оз. Парсанкуль, которое является конечным разливом Главного Каракульского коллектора и сброса Махан.

Режим работы ГБК полностью определяется уровнем воды в озере или поступлением воды в него (рис. 1). Сток на входе в озеро и на выходе из него измерялся при экспедиционных выездах на озеро. Зависимость, полученная по данным этих измерений, на рис. 1 использована для оценки стока коллекторных вод по ГБК по данным о притоке воды в оз. Парсанкуль (табл. 3).

Расчеты водного баланса территории за годовые периоды (ноябрь—октябрь) показали, что невязки колеблются от 23 до 35% суммарного притока в контур (рис. 2). В 1965/66—1979/80 гг. они уменьшились по сравнению с предыдущим периодом, что связано с учетом стока коллекторных вод. В оба периода невязки баланса зависят от притока в контур. Они отрицательны в годы с пониженным притоком и положительны в годы с повышенным

Суммарный сток по коллекторам в ирригационно-сбросовые озера, м³/с

Год	Оз. Шор-куль		Впадина Каракыр		Оз. Денгиз-куль		Оз. Мадан-куль		Оз. Парсан-куль (оз. Соленое)	
	XI-IV	V-X	XI-IV	V-X	XI-IV	V-X	XI-IV	V-X	XI-IV	V-X
1965/66	0,13	0,12	3,75	2,59	3,00	1,81	0,98	0,95	0,70	0,71
1966/67	0,08	0,10	6,46	2,78	4,95	3,21	0	0	3,28	2,20
1967/68	0,10	0,22	5,70	6,00	4,62	4,25	0	0	7,33	1,97
1968/69	—	—	12,5	12,4	5,87	6,42	0	0	35,6	26,5
1969/70	0,27	0,34	8,89	3,60	6,05	3,82	1,00	0,45	26,1	3,68
1970/71	0,22	0,14	4,95	0,86	5,32	2,10	0,45	0,38	12,1	2,40
1971/72	0,21	0,40	2,37	1,39	4,54	3,94	0,58	1,15	8,95	3,00
1972/73	0,33	0,62	3,54	2,16	5,80	4,30	0,51	0,94	7,92	3,76
1973/74	0,61	0,19	3,57	1,05	7,35	2,86	0,50	0,14	12,0	3,61
1974/75	0,23	0,04	2,95	0,38	6,32	2,12	0,60	0,73	10,0	1,71
1975/76	0,18	0,29	5,88	2,76	8,26	5,98	0,78	0,78	9,66	4,85
1976/77	0,34	0,31	4,20	1,99	7,34	6,35	0,43	0,39	10,0	6,68
1977/78	0,34	0,59	11,1	7,22	12,0	10,1	1,70	1,97	16,5	10,5
1978/79	0,51	0,69	13,8	10,8	12,7	11,2	1,95	2,16	17,5	15,0
1979/80	0,73	0,60	17,7	8,20	13,6	9,05	1,99	2,22	18,2	11,0
1980/81	0,70	0,54	16,1	12,1	14,7	12,0	1,68	2,54	18,7	15,7

Примечание. Приток в водоприемники получен суммированием стока по коллекторам: 1) оз. Шоркуль — коллектор Шадыбек; 2) впадина Каракыр — коллекторы Северный, НИЭТимур, В-8 Северного, Накиб, В-9 Северного, Пиезкор; 3) оз. Денгизкуль — коллекторы Южно-Объединительный, В-7 Денгизкульский, Чакмак-А, Сакович, Ленинизм, Лошинский, Курак, Богоутдин, Курджан, Зерабад, Джамат, Чакмак-Б, Шуарык, Саят, Железнодорожный; 4) оз. Маданкуль — коллектор Яманджар; 5) оз. Парсанкуль — коллекторы Западно-Ромитанский, Махан, Сепата, Главный Каракульский, сброс Гурдюш, Караунский.

притоком. Вероятно, в первом случае фактическое испарение с орошаемых полей меньше рассчитанного из-за уменьшенных оросительных норм в маловодные годы. В многоводные годы, в связи с увеличением водоподачи на территорию и подъемом уровня грунтовых вод, рассчитанное испарение может быть меньше фактического. Кроме того, положительная невязка баланса связана с неучетом потерь воды по трассе Аму-Бухарского канала, так как приток в контур принимается по расходу в головном сооружении этого канала.

При осреднении за пятилетние периоды невязка баланса сокращается до 2—6%. Лишь в начале 50-х и конце 70-х годов она увеличивается до 16 и 12% соответственно. В последнем случае это связано, вероятно, с резким увеличением водозабора в Аму-Бухарский канал, а следовательно, и потерь по трассе ка-

	Среднемесячное						
	XI	XII	I	II	III	IV	V
1976/77	2,2	3,6	7,9	6,9	11,5	17,3	7,9
1977/78	4,9	11,2	19,7	20,3	21,4	16,9	10,6
1978/79	4,0	2,1	15,6	33,8	25,8	19,9	18,3
1979/80	4,2	4,3	10,0	27,3	33,4	26,3	15,0
1980/81	5,4	5,3	22,3	33,5	24,5	18,1	18,0

Примечание. Сброс по ГБК начался в октябре—декабре 1976 г. притоком в него.

нала. Кроме того, невязка может быть связана с недостаточно полным учетом стока, затраченного на заполнение Тудакульской впадины.

В целом баланс, составленный за пятилетние промежутки времени, дает представление о структуре затрат речного стока в пределах исследуемого контура (табл. 4).

Суммарные затраты речного стока в исследуемой части бассейна р. Зеравшан до второй половины 70-х годов практически равнялись притоку в контур; в конце 70-х годов, после завершения строительства Главного Бухарского коллектора (Парсанкульского сброса), появился поверхностный сток в русло Амударьи. Однако и в эти годы затраты стока в пределах Бухарской области полностью определялись притоком воды в контур.

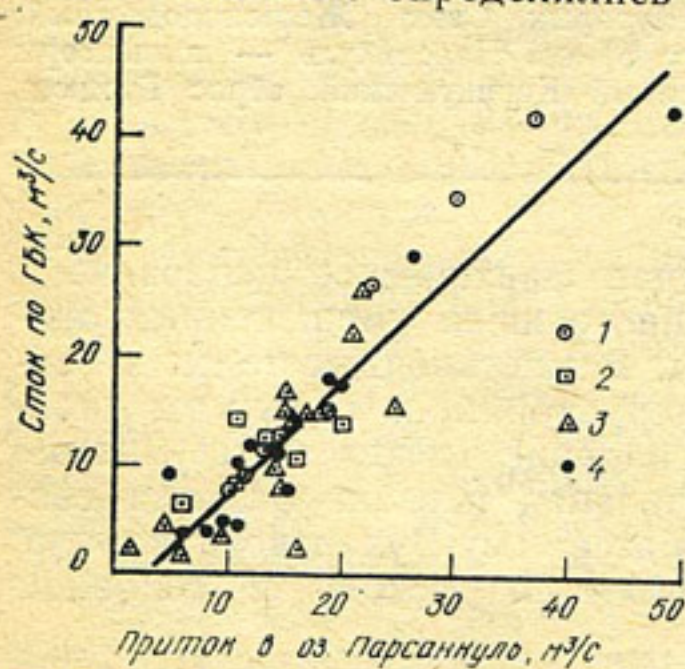


Рис. 1. Зависимость стока по Главному Бухарскому коллектору от притока воды в оз. Парсанкуль по данным наблюдений в 1981 (1), 1982 (2), 1983 (3) и 1984 гг. (4)

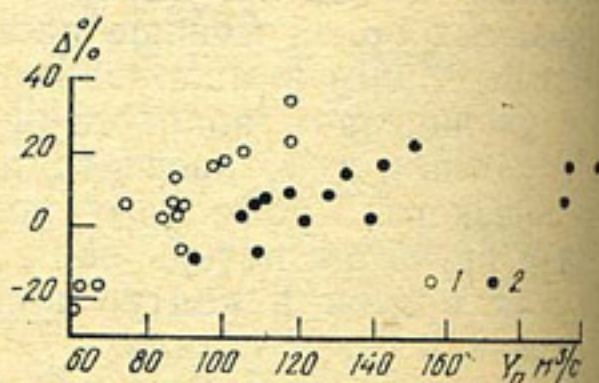


Рис. 2. Невязки водного баланса территории бассейна р. Зеравшан (ниже створа Хазаринского) в зависимости от притока воды: 1 — 1950/51 — 1964/65 гг. и 2 — 1965/66 — 1979/80 гг.

Главному Бухарскому коллектору, м³/с

значение стока					Среднее за		
VI	VII	VIII	IX	X	XI—IV	V—X	XI—X
2,1	0	3,5	7,8	5,6	8,2	4,5	6,35
9,8	6,5	7,8	11,0	6,9	15,7	8,8	12,2
16,5	12,2	13,7	15,4	7,6	16,9	14,0	15,4
12,2	3,4	6,9	9,8	8,9	17,6	9,4	13,5
15,2	14,8	18,2	11,8	10,8	18,2	14,8	16,5

Среднемесячные данные восстановлены по связи стока из о. Парсанкуль с

С вводом в эксплуатацию Аму-Бухарского канала затраты стока в бассейне увеличились (табл. 4). Так, в конце 60-х и начале 70-х годов они возросли на 30% относительно предшествующего периода (50-е годы), а в конце 70-х годов — почти на 90%. С ростом абсолютных затрат стока наблюдается сначала уменьшение, а затем увеличение их удельной величины (табл. 4). В 70-е годы удельные суммарные затраты стока составляли в бассейне 15—20 тыс. м³/га.

Годовые удельные затраты речного стока на испарение с орошаемых земель колеблются в пределах 8,4—9,1 тыс. м³/га. Какой-либо тенденции к уменьшению или увеличению этих величин со временем не наблюдается. В среднем за последние 10 лет (1970—1980 гг.) удельное испарение с орошаемых земель (за вычетом осадков) составляет 8,8 тыс. м³/га. Испарение с переделов равно 0,5—0,6 км³/год, или 20—21% суммарного испарения. Затраты стока на аккумуляцию влаги в почвогрунтах неизмеримо малы по сравнению с испарением и стоком коллекторных вод.

Сток воды по коллекторам за пределы орошаемой зоны колеблется в пределах 0,4—1,0 км³/год, что составляет 12—19% суммарных затрат. Суммарный коллекторный сток за пределы орошаемой зоны хорошо коррелируется с суммарным притоком воды в контур, а также с разностью $Y_n = (E_c + \Delta W \pm \Delta U + P_{п/к})$, т. е. суммарными затратами стока (рис. 3).

За пределы орошаемой зоны во второй половине 70-х годов отведен 1 км³ коллекторных вод. Лишь часть их, равная 0,28 км³/год, из оз. Соленого Главным Бухарским коллектором с некоторыми потерями отводится в русло Амударьи. Большая же часть коллекторных вод аккумулируется в ирригационно-сбросовых озерах и затем испаряется.

Неучтенные затраты речного стока колеблются в пределах 0,08—0,66 км³/год, что составляет 2—16% суммарных затрат.

Структура затрат речного стока в бассейне р. Зеравшан

Элементы затрат	Среднее за					
	1950/51— 1954/55	1955/56— 1959/60	1960/61— 1964/65	1965/66— 1969/70	1970/71— 1974/75	1975/76— 1979/80
Суммарный приток (Y_n), км ³ /год	3,01	2,62	2,71	3,60	3,72	5,58
Отток за пределы контура (Y_o) км ³ /год	3,01	2,62	2,71	3,60	3,72	0,30 5,28
Суммарные затраты ($Y_n - Y_o$), км ³ /год, в том числе:						
испарение с орошаемых земель с перелогов	1,86 0,47	1,83 0,47	1,86 0,48	2,02 0,55	2,22 0,56	2,26 0,60
с перелогов относительно суммарного, %	20,2	20,4	20,5	21,4	20,2	21,0
Всего испарение, км ³ /год	2,33	2,30	2,34	2,57	2,78	2,86
Испарение относительно суммарных затрат, %	77,5	88,0	86,5	71,5	74,8	54,0
В том числе с орошаемых земель, %	61,9	69,9	68,6	56,1	59,5	42,6
Орошаемая площадь, тыс. га	205	215	222	230	246	265
Удельные суммарные затраты, тыс. м ³ /га	14,7	12,2	12,2	15,7	15,1	19,9
В том числе с орошаемых земель, тыс. м ³ /га	9,1	8,5	8,4	8,8	9,0	8,6
Затраты на промышленно-коммунальное водопотребление, км ³ /год	0,21	0,18	0,19	0,25	0,26	0,39
Затраты на заполнение Тудакульского водохранилища, км ³ /год						
Аккумуляция в почвогрунтах, км ³ /год				-0,002	-0,002	0,37
Коллекторный сток, км ³ /год				0,70	0,45	0,007
Коллекторный сток относительно суммарных затрат, %				19,4	12,1	19,1
Неучтенные затраты стока, км ³ /год	0,47	0,14	0,18	0,08	0,23	0,64
Неучтенные затраты стока относительно суммарных затрат, %	15,6	5,3	6,6	2,2	6,2	12,1

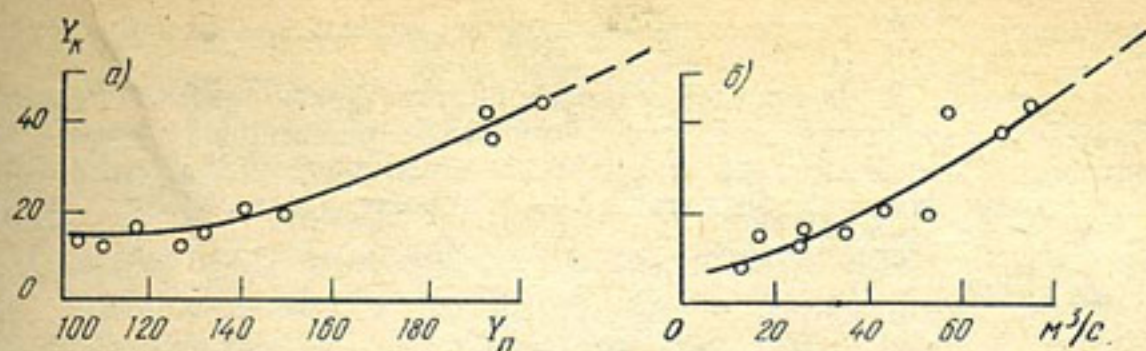


Рис. 3. Зависимость коллекторного стока за пределы орошаемой зоны бассейна от притока в контур (а) и от разности $Y_n - (E_c + \Delta W \pm \Delta U + P_{п/к})$ (б)

Во второй половине 70-х годов резко увеличились неучтенные затраты стока — с 6% в предшествующую пятилетку до 12%. Скорее всего это связано с недостаточно надежной оценкой заполнения Тудакульского водохранилища и увеличением размеров вновь осваиваемых земель, не сданных на баланс совхозов и колхозов. Эти земли орошаются, однако еще не фигурируют в сводках ЦСУ. Кроме того, в связи с ростом водозабора в Аму-Бухарский канал увеличились фильтрационные потери из него.

Выводы из изложенного следующие:

1. Проведенное исследование показало, что водный баланс территории Бухарского водохозяйственного района, составленный за пятилетние промежутки времени, дает представление о структуре затрат речного стока.

2. На суммарное испарение вплоть до середины 70-х годов расходовалось больше 70% суммарных затрат стока; во второй половине 70-х годов удельный вес испарителя снизился до 54%.

3. Коллекторный сток за пределы орошаемой зоны не превышает 19% от суммарных затрат.

4. Затраты на аккумуляцию влаги в почвогрунтах неизмеримо малы по сравнению с другими видами затрат.

5. В последние годы возросли неучтенные затраты стока, что, по-видимому, связано с увеличением подачи воды по Аму-Бухарскому каналу, а следовательно, ростом потерь на фильтрацию из него. Кроме того, вероятно, увеличились размеры орошаемых площадей, находящихся в стадии освоения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов Ю. Н. Эмпирический метод расчета месячных сумм испарения с полей хлопчатника. — Труды САНИИ Госкомгидромета, 1982, вып. 89(170), с. 23 — 35.
2. Иригация Узбекистана. — Ташкент: Фан, 1979, т. III. — 357 с.
3. Мирзаев С. Ш. Запасы подземных вод Узбекистана. — Ташкент: Фан, 1974. — 223 с.
4. Мирзаев С. Ш., Бакушева Л. П. Оценка влияния водохозяйственных мероприятий на запасы подземных вод. — Ташкент: Фан, 1979. — 122 с.
5. Муминов Ф. А. Тепловой баланс и формирование урожая хлопчатника. — Труды САРНИГМИ, 1970, вып. 50(65), с. 179 — 186.

6. Харченко С. И. Гидрология орошаемых земель. — Л.: Гидрометеониздат, 1975. — 373 с.
7. Шевченко А. И. Основные закономерности формирования подземных вод в бассейне Зеравшана и гидрогеологическое районирование его равнинных пространств применительно к запросам мелиорации. Материалы по производительным силам Узбекистана. — Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1957, вып. 9, с. 67 — 122.

Е. М. ВИДИННОВА, М. Е. БЕЙЛИНСОН, Д. А. ГУЛЯМОВА

АНТРОПОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ НА ВОДНЫЙ И СОЛЕВОЙ СТОК р. НАРЫН

Развитие среднеазиатских республик невозможно без дальнейшего развития орошаемого земледелия. В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 гг. и на период до 2000 г.», принятых на XXVII съезде КПСС, предусматривается обеспечить реконструкцию и улучшение использования действующих оросительных систем, ввести в эксплуатацию 360 тыс. га орошаемых земель в Узбекской ССР и 45 тыс. га в Киргизской ССР. Реке Нарын отводится в решении этой задачи немалая роль, так как на ней расположено крупнейшее в Средней Азии водохранилище — Токтогульское с полным объемом 19,5 млрд. м³ [3], которое будет осуществлять многолетнее регулирование стока Нарына и частично Сырдарьи. Кроме Токтогульского, на р. Нарын с 1961 г. работает небольшое Учкурганское водохранилище, а с 1981 г. — Курпсайское. Оба осуществляют только суточное регулирование стока.

В данной работе сделана попытка с помощью руслового водного и солевого балансов нижнего течения р. Нарын (от г. Ташкумыра до г. Учкургана) оценить влияние орошения и водохранилищ на водный и солевой сток. На участке осуществляют водозабор четыре канала; сосредоточенных сбросов в реку, измеряемых гидрометрически, нет. Водный баланс составлялся по месячным и годовым величинам стока с 1964 по 1984 г.

Верхний гидроствор «Ниже устья р. Карасу правая» на р. Нарын расположен несколько выше г. Ташкумыра и ниже Токтогульского водохранилища. В зимние месяцы вследствие очень резких колебаний расходов воды в нижнем бьефе этого водохранилища почти столь же резко колеблются расходы и в створе «Ниже устья р. Карасу правая», так как на этом створе с 1977 по 1983 г. не было самописца уровня, расходы воды при таких колебаниях рассчитывались по кривой с недостаточной точностью. Экспедиция САНИИ под руководством В. А. Кудышкина проводила специальные учащенные измерения уровней в 1982 г. и обнаружила существенные расхождения в средних месячных расходах, определяемых по кривым зависимости расходов от уровней при двухсрочных и при учащенных наблюдениях за уровнем.

Водозабор в каналы учитывается в головах каналов на гидростворах, принадлежавших ММиВХ УзССР.

До 1970 г. на участке водозабор осуществлялся только в два канала — Большой Ферганский ($Q_{\max} = 150 \text{ м}^3/\text{с}$) с левого берега и Большой Наманганский с правого, с пропускной способностью $5 \text{ м}^3/\text{с}$. Суммарный водозабор в эти два канала не превышал $145 \text{ м}^3/\text{с}$. Наибольший водозабор приходится на период май—сентябрь, минимальный — на ноябрь—декабрь.

С 1971 г. выше плотины Учкурганской ГЭС, где забирал воду Большой Наманганский канал, стали брать воду еще два канала: Левобережный с пропускной способностью $50 \text{ м}^3/\text{с}$ и Правобережный с пропускной способностью $60 \text{ м}^3/\text{с}$. С 1971 г. суммарный водозабор на участке постепенно нарастал. Максимальным он оказался в июле 1980 г., когда составил $341 \text{ м}^3/\text{с}$. Рекогносцировочное обследование участка Нарына от г. Ташкумыр до г. Учкурган, выполненное экспедицией кафедры гидрологии ТашГУ в июле 1984 г., показало, что на участке, кроме вышеназванных четырех каналов, берет воду целый ряд насосных установок различной мощности, но забор этот никем не учитывается.

На рассматриваемом участке выше г. Учкурган располагается небольшое Учкурганское водохранилище суточного регулирования, не оказывающее влияния на месячный сток.

Баланс составлялся по уравнению

$$Q_{\text{Таш}} - \sum Q_{\text{заб}} - Q_{\text{уч}} = \pm \Delta Q, \quad (1)$$

где $Q_{\text{Таш}}$ — расход р. Нарын в створе «Ниже устья р. Карасу правая» (г. Ташкумыр); $Q_{\text{уч}}$ — расход в створе г. Учкурган; $\sum Q_{\text{заб}}$ — суммарный водозабор на участке; ΔQ — остаточный член баланса или его невязка, которая выражалась в $\text{м}^3/\text{с}$ и в % к притоку воды на участок.

С 1976 г. в УГКС УзССР для названного участка составляются русловые водные балансы по оперативным гидрометрическим данным по методике И. Ф. Карасева, отличие которой от общепринятой состоит в том, что если сумма расходных статей баланса больше суммы приходных, то невязка баланса считается положительной, и, кроме того, рассчитывается величина руслового регулирования на участке. Однако подсчет этого члена в УГКС УзССР показал, что его величина оказывается в пределах точности измерения расходов в верхнем и нижнем створах, и поэтому в расчетах баланса он фактически не учитывается.

Расходы в верхнем створе колебались в 1964—1984 гг. от $25 \text{ м}^3/\text{с}$ в ноябре 1978 г. до $1980 \text{ м}^3/\text{с}$ в июне 1969 г.; в нижнем створе от $20,2$ в ноябре 1978 г. до $1910 \text{ м}^3/\text{с}$ в июне 1969 г. Суммарный водозабор в каналы — от $1,5 \text{ м}^3/\text{с}$ в ноябре 1964 г. до $241 \text{ м}^3/\text{с}$ в июле 1980 г. Следовательно, величины основных элементов баланса примерно одного порядка.

Анализ невязок баланса показал, что на рассматриваемом участке р. Нарын в течение большей части года отмечается фильтрация, т. е. потери речного стока, в которые в вегетационный пе-

риод входит и неучтенный водозабор. Выклинивание подземных вод в русло отмечается почти ежегодно в период низкого стояния уровней воды в реке в ноябре — декабре, иногда в январе — феврале (1983 г.).

Выклинивание на участке в ноябре — декабре в восьми годах из двадцати одного оказалось выше величины суммарного водозабора воды на участке: расходы воды у г. Учкурган превышали расходы у г. Ташкумыр. Наибольшее значение выклинивания, равное $103 \text{ м}^3/\text{с}$, отмечена в декабре 1982 г.* Из восьми лет с существенным выклиниванием в период ноябрь — декабрь три года были многоводными и пять маловодными, следовательно, какой-либо четкой связи выклинивания с водностью года выявить не удалось, но имеется некоторая тенденция к возрастанию величины выклинивания осенью в многоводные годы (1964, 1966).

В особенно многоводные годы, такие как 1969 и 1966, существенное выклинивание отмечалось в месяцы с максимальным стоком — июнь — август в 1969 г. и июнь — в 1966 г.

Известно, насколько многоснежными были эти годы, причем снег лежал даже в самых нижних зонах бассейна до апреля. Именно нижние зоны и дали, вероятно, существенную подпитку подземным водоносным горизонтам. Кроме того, в эти многоводные годы вплоть до июня имелся сток во всех саях, в обычные годы не дающих стока в р. Нарын.

Таким образом, в невязку баланса вошло не только выклинивание, но и неучтенная боковая приточность.

За весь период с 1964 по 1984 г. в 19 случаях из 240 невязки баланса оказались выше 20% притока на участок, т. е. учет составляющих баланса производится с достаточной точностью. Выявить какую-либо закономерность в размере невязок или в их знаке в зависимости от величины притока на участке не удалось.

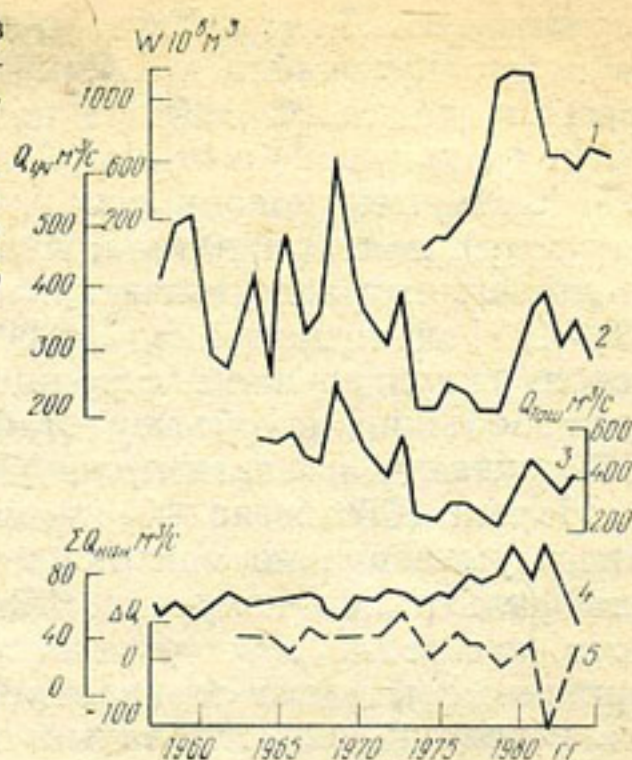
Нами произведено сравнение уточненных данных о стоке р. Нарын, помещаемых в гидрологические ежегодники, с оперативными данными. Расхождения в величине месячных расходов воды чаще всего не превышают $10 \text{ м}^3/\text{с}$ и лежат в пределах точности их измерения. Однако в отдельные месяцы такие расхождения достигают 12—15% учтенных расходов, причем приходятся они на зимние месяцы, когда при малых расходах точность определения стока должна быть выше.

Анализ совмещенных графиков хронологического хода элементов руслового водного баланса на участке от Ташкумыра до Учкургана показал следующее: а) с 1974 по 1980 г. суммарный водозабор с некоторыми колебаниями постепенно нарастал (рисунок); б) несмотря на влияние водозаборов, сохраняется четкий параллелизм в хронологическом ходе расходов воды в верхнем и нижнем створах, т. е. влияние водозаборов сказывается только на

* Столь большое значение выклинивания подземных вод в реку на данном участке сомнительно. Вероятно, оно получено без учета ошибок в определении стока на границе участка.

Хронологический ход расходов р. Нарын, водозаборов из него и объем Токтогульского водохранилища:

1 — объем Токтогульского водохранилища, 2 — расходы по посту Учкурган, 3 — расходы по посту Ташкумыр, 4 — измеренный забор воды в каналы, 5 — ΔQ невязка руслового баланса



величине годового стока на участке, приводя к уменьшению его, а не к полной трансформации, как это происходит в среднем и нижнем течении Сырдарьи и отмечается Ф. Э. Рубиновой [4].

В период с 1964 по 1976 г. годовые невязки балансов по нашим расчетам сравнительно мало менялись от года к году, оставаясь положительными, а с 1977 г. невязки стали отрицательными. Именно с этого года началось заметное наполнение Токтогульского водохранилища многолетнего регулирования стока.

В маловодные 1974—1976 гг. водохранилище использовалось только как водоем сезонного регулирования. С 1974 г. началось уменьшение стока на участке, сначала связанное с естественными причинами (1974, 1975 гг. были маловодными), а затем с наполнением Токтогульского водохранилища. Водохранилище до сих пор не наполнено до НПУ, наполнение его продолжается, и колебания стока в р. Нарын ниже него идут на более низком фоне, чем наблюдавшийся до начала наполнения водохранилища. В 1978 и 1979 гг. в Нарыне у г. Учкурган отмечались наиболее низкие расходы воды за 70 лет наблюдений, так как в эти годы происходило самое интенсивное за 11 лет наполнение Токтогульского водохранилища (рисунок). В эти годы, с пониженным стоком и с пониженными уровнями воды на участке, отмечалось увеличение выклинивания подземных вод в русло и, следовательно, большая роль их в жизни реки. Подтверждением увеличения выклинивания явились отрицательные годовые невязки водного баланса и тот факт, что с 1980 г. в октябре—ноябре появляется вода в системе дренажа плотины Учкурганской ГЭС (с 1961 по 1979 г. и дренажные скважины, и потерны, в которые они выходят, были сухими).

В маловодные 1981—1982 гг. при значительной сработке водохранилища (на 5833 млн. м^3) расходы ниже него заметно повысились, а в 1983 г. вновь понизились в связи с дальнейшим наполнением Токтогульского водохранилища.

На участке от Токтогульского водохранилища до г. Учкурган уже работают Курпсайское и Учкурганское водохранилища суточного регулирования. С 1985 г. началось наполнение Ташкумырского водохранилища (выше г. Ташкумыр). До 1990 г. будет построено Ташкумырское и сооружено Шамолдысайское (ниже г. Ташкумыр) водохранилища, что предусматривается «Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1986—1990 гг. и на период до 2000 г.». Хотя Курпсайское, Ташкумырское, Учкурганское и строящееся Шамолдысайское водохранилища небольшие по объему (табл. 1), но они при наполнении до НПУ создадут на значительной части рассматриваемого участка р. Нарын (30 км из 40) подпорный режим, который может привести к уменьшению притока подземных вод в русло и к увеличению фильтрации из русла. Можно предположить также, что возрастет испарение с зеркала этих водохранилищ по сравнению с испарением с водного зеркала реки, но, учитывая, что площади зеркала невелики, относительные потери воды на испарение составят небольшую часть стока р. Нарын. В зимние месяцы в период без ледостава существование каскада водохранилищ приведет к некоторому увеличению стока, так как выпадающие на поверхность водохранилищ атмосферные осадки сразу будут обращаться в сток. До строительства водохранилищ осадки зимой накапливались на поверхности водосбора, превращаясь в сток лишь весной, причем значительная часть их терялась на таяние, фильтрацию и испарение.

Итак, пока на сток р. Нарын в среднем и нижнем течении из водохранилищ влияет и весьма существенно только Токтогульское, которое до сих пор наполняется, в связи с чем сток Нарына заметно падает. Вероятно, в будущем изменения годового стока р. Нарын ниже Токтогульского водохранилища будут протекать на том низком фоне, который наметился в последние годы и связан с естественными причинами (ряд маловодных лет) и с наполнением водохранилища.

Для выявления антропогенного влияния на гидрохимический режим р. Нарын анализировался внутригодовой ход минерали-

Таблица 1

Некоторые морфометрические характеристики водохранилищ

Водохранилище	Полный объем, 10^6 м^3	Площадь зеркала, км^2	Длина, км	Год ввода в эксплуата- цию
Токтогульское	19500	284	65	1974
Курпсайское	380	12	40	1981
Ташкумырское	140	8	8	1985
Шамолдысайское	40	2,4	14	1988
Учкурганское	14,5	—	8	1961

зации воды у городов Ташкумыр и Учкурган. Ряды наблюдений были поделены на два: до 1976 г. и с 1977 по 1985 г.

Внутригодовое распределение минерализации у г. Ташкумыр до 1976 г. зависело от колебаний водности внутри года. Нарын — река снегово-ледникового питания, половодье длится с апреля по август с максимумом в июне. Наименьшие значения стока отмечаются с сентября по март. Максимумам расходов соответствовали минимумы минерализации. Такой ход минерализации характерен в среднем за 1963—1976 гг. и в отдельные годы. Судя по хронологическим графикам минерализации за этот ряд лет, максимум минерализации отмечался в январе — марте, минимум обычно в июне — июле, в момент прохождения пика половодья.

Под влиянием водохранилища с 1977 по 1985 г. резко изменилось внутригодовое распределение минерализации: с января по июль она беспорядочно колеблется, причем в меньших пределах, чем раньше: от 316 мг/л (в январе) до 290 мг/л (в апреле); затем минерализация падает и минимум приходится на сентябрь. После этого до конца года наблюдается рост минерализации до 339 мг/л. В указанные шесть лет Токтогульское водохранилище в большей мере осуществляло сезонное регулирование стока, чем многолетнее. Можно предположить, что в августе — октябре происходит сброс вод, накопившихся в период половодья и имеющих наименьшую минерализацию. Следует сказать, что эта характеристика хода минерализации довольно ориентировочна, так как получена по осредненным данным всего за шесть лет.

У Учкургана также после начала работы водохранилища (1978—1984 гг.) наблюдаются беспорядочные колебания минерализации внутри года, но в сентябре отмечается подъем ее до 327 мг/л (табл. 2), вероятно связанный с интенсивным выклиниванием подземных вод в русло. Выше отмечалось, что выклинивание играет большую роль в стоке реки на рассматриваемом участке именно в осенние месяцы.

На многих реках Средней Азии в маловодные годы минерализация воды оказывается выше, чем в многоводные. В Нарыне у

Таблица 2

Внутригодовой ход минерализации р. Нарын

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
г. Ташкумыр												
1963—1976	407	404	378	359	279	268	243	285	283	320	354	415
1977—1985	316	311	302	300	310	302	305	286	273	287	330	339
г. Учкурган												
1963—1976	420	412	403	409	305	299	293	284	355	325	367	382
1977—1985	328	310	325	301	302	309	317	291	327	283	283	290

Учкургана в очень многоводном 1969 г. сумма ионов изменялась от 230 до 403 мг/л, а в маловодном 1975 г. от 310 до 549 мг/л. Выявить подобную разницу после 1977 г. не удалось.

Русловые водохранилища годичного или сезонного регулирования стока, например Кайраккумское на р. Сырдарья, также влияют на внутригодовое распределение минерализации в реке ниже водохранилища. Однако это влияние не столь значительно: оно выражается лишь в сдвиге на более поздние сроки экстремальных значений суммы ионов [2].

В водохранилищах многолетнего регулирования происходит смешение речных вод не только разных сезонов, но и разных лет, что приводит к существенному сглаживанию колебаний минерализации внутри года, к полному изменению внутригодового ее хода и к меньшим колебаниям ее от года к году.

Ионный состав воды в реках в значительной мере зависит от сезона года, так как в разные сезоны меняется соотношение между отдельными источниками питания рек, имеющих различную минерализацию и различный состав воды (табл. 3).

В водах Нарына в течение всего года преобладают анионы HCO_3^- , меньше SO_4^{2-} и еще меньше Cl^- . Среди катионов преобладающими являются катионы Ca^{2+} , содержание $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ несколько меньше и еще меньше Mg^{2+} . Следовательно, вода Нарына по составу является гидрокарбонатно-кальциевой, I типа (по классификации О. А. Алекина [1]).

Ионный состав несколько меняется с изменением минерализации: малой минерализации соответствует малая величина содержания ионов. В наибольших пределах колеблются преобладающие ионы: из катионов кальций — от 25,0 до 72,4 мг/л, из анионов HCO_3^- — от 78,7 до 194,0 мг/л. В среднем за 1963—1976 гг. внутригодовой ход большинства главных ионов почти

Таблица 3

Предел изменения содержания главных ионов (мг/л) в воде р. Нарын

Главные ионы	г. Ташкумыр	г. Учкурган	
	1963—1984 гг.	1955—1976 гг.	1978—1984 гг.
Ca^{2+}	25,0—72,4	35,0—60,3	20,4—80,0
Mg^{2+}	5,4—21,5	2,5—35,8	2,4—35,8
HCO_3^-	78,7—194,0	107,4—172	19,4—219,0
SO_4^{2-}	29,0—148,1	36,6—201,6	48,4—201
Cl^-	2,3—32,6	6,8—49,6	20,2—38,0
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	5,0—38,0	9,0—46,4	9—46,4

полностью повторяет ход минерализации с некоторыми отклонениями. Под влиянием Токтогульского водохранилища уменьшились колебания минерализации от месяца к месяцу, однако пределы колебания концентрации отдельных ионов почти не изменились (табл. 3).

Для участка от Ташкумыра до Учкурмана составлялся солевой русловой баланс по формуле, аналогичной (1):

$$S_{\text{Таш}} - S_{\text{кан}} - S_{\text{Уч}} = \pm \Delta S, \quad (2)$$

где $S_{\text{Таш}}$ — ионный сток у г. Ташкумыр, $S_{\text{кан}}$ — ионный сток каналов, $S_{\text{Уч}}$ — ионный сток у г. Учкурман, а ΔS — невязка солевого баланса.

Ионный сток считался по формуле

$$S = W \sum u, \quad (3)$$

где W — месячный или годовой сток воды, $\sum u$ — средняя месячная или годовая минерализация воды или концентрация одного из главных ионов.

Ионный сток выражался в тыс. т, рассчитывался помесечно и по годам. Считался также сток и составлялся русловой баланс для ионов хлора, сульфатных и щелочной группы ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$). Выбраны эти ионы, так как они являются наиболее токсичными при оценке качества воды для орошения.

При расчетах ионного стока в каналы было сделано допущение, что минерализация и концентрация ионов в головах каналов такая же, как и в Нарыне у Учкурмана. Чтобы доказать правомерность такого допущения, нами была построена зависимость минерализации в голове БФК от минерализации воды Нарына у Учкурмана. Связь оказалась тесной (коэффициент корреляции равен 0,85). Заборы воды в БФК составляют основную часть водозаборов на участке Ташкумыр — Учкурман, но, к сожалению, сведения о минерализации воды в его голове имеются всего за три года — 1982—1984. Солевой баланс составлялся помесечно и по годам за период с 1974 по 1984 г.

Ионный сток р. Нарын у г. Ташкумыр изменялся от 2499 тыс. т (1977 г.) до 4531 тыс. т (1984 г.), а у г. Учкурман — от 2026 (1979 г.) до 3610 (1982 г.) тыс. т. Солевой отток в каналы колебался от 437 (1984 г.) до 1056 (1980 г.) тыс. т. Ионный сток в большей мере зависит от водного стока, чем от минерализации, так как последняя меньше варьирует, чем водный сток. Хронологический ход годовых величин водного и солевого стока очень похожи. Отток солей в каналы, так же как и водозаборы, нарастал до 1980 г., а затем начал падать. Водозабор на орошение приводит к уменьшению стока в Нарыне у Учкурмана по сравнению с Ташкумыром. Так, у Ташкумыра средний многолетний ионный сток составил 3945 тыс. т, а у г. Учкурман 2874. Рассчитаны также показатели ионного стока $P_{\text{и}}$:

$$P_{\text{и}} = S : F, \quad (4)$$

где S — средний многолетний ионный сток, а F — площадь водосбора, км².

Показатель ионного стока у г. Ташкумыр равен 68,4 т/км², а у г. Учкурган — 49,3 т/км². По бассейну Сырдарьи средний показатель ионного стока 43,5 т/км² [1]. Пост у г. Ташкумыр находится в конце зоны формирования стока, а у г. Учкурган — уже зона рассеивания стока, и уменьшение показателя ионного стока по длине реки подтверждает это.

Невязки солевого баланса, выраженные в процентах от поступления солей на участок в верхнем створе, примерно такого же порядка, как невязки водного баланса — чаще всего менее 10–15% величины поступления. Наиболее интенсивное поступление солей с выклинивающимися подземными водами отмечается в зимне-весенний период при минимальных расходах воды в реке (октябрь — декабрь, январь — февраль).

Произведена оценка применимости воды Нарына у г. Учкурган и в БФК для орошения по величине ирригационного коэффициента (по Стеблеру), который для воды I типа считается по формуле

$$K_a = \frac{662}{Na^+ - 0,32 Cl^- - 0,43 SO_4^{2-}}, \quad (5)$$

где Na^+ , Cl^- — SO_4^{2-} — концентрация соответствующих ионов в мг/л. Если $K_a > 18$, то количество воды хорошее [1]. Для Нарына и БФК они оказались значительно выше 18 (от 25 до 68), т. е. вода Нарына хороша для орошения. Был подсчитан также суммарный вынос солей на 1 га орошаемой земли за вегетационный период (оросительная норма принята равной 7000 м³/га). Он оказался равным 3,3 кг/га, для Сырдарьи у кишл. Чиназ — 8,4 кг/га, а для Амударьи у кишл. Саманбай — 8,3 кг/га. Следовательно, водой Нарына выносятся на поля значительно меньшее количество солей, чем водами других крупных рек Средней Азии.

Выводы из изложенного следующие:

1. В нижнем течении р. Нарын на участке между городами Ташкумыр и Учкурган большую часть года отмечается фильтрация, а в период низкого стояния уровня (ноябрь—декабрь, иногда январь — февраль) — выклинивание подземных вод в русло.

2. Несмотря на нарастание водозаборов в каналы в период с 1974 по 1980 г., сохраняется четкий параллелизм в хронологическом ходе годовых расходов воды в верхнем и нижнем створах р. Нарын, т. е. водозаборы пока только уменьшают сток на участке, а не полностью трансформируют его, как это происходит в среднем и нижнем течении Сырдарьи.

3. Из четырех водохранилищ, работающих в среднем и нижнем течении р. Нарын, на его сток весьма существенно влияет только Токтогульское: с 1974 г. идет его наполнение и связанное с ним уменьшение стока в реке ниже него.

4. Под влиянием Токтогульского водохранилища изменился внутригодовой ход минерализации воды: исчезла четко выражен-

ная раньше закономерность в ее колебаниях, уменьшилась амплитуда.

5. Под влиянием оттока солей в каналы уменьшается ионный сток по длине реки: у г. Ташкумыр средний многолетний ионный сток равен 3945 тыс. т, а у г. Учкуртан — 2874 тыс. т.

6. Оценка качества воды р. Нарын для орошения показала, что вода р. Нарын хорошего качества. За вегетационный период выносятся 3,3 кг солей на гектар орошаемой нарынской водой площади, что в 2,5 раза меньше, чем при орошении водой Сырдарьи, забираемой у кишл. Чиназ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алекин О. А. Основы гидрохимии. — Л.: Гидрометеониздат, 1970. — 444 с.
2. Видинеева Е. М., Селиванова А. К. Влияние Кайраккумского водохранилища на гидрохимический режим р. Сырдарьи. — В кн.: Сб. работ ТГМО, 1971, вып. 4, с. 185 — 195.
3. Никитин А. М. Водные ресурсы и водный баланс озер и водохранилищ Средней Азии. — М.: Гидрометеониздат, 1986. — 96 с. (Труды САНИИ Госкомгидромета. Вып. 108(189)).
4. Рубинова Ф. Э. Изменение стока р. Сырдарьи под влиянием водохозяйственного строительства в ее бассейне. — М.: Гидрометеониздат, 1979. — 137 с. (Труды САНИИ. Вып. 58(139)).

В. О. УСМАНОВ, В. В. БЛАГОВ, Т. А. АЛИЕВА

О СТАТИСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ ПОЛЯ ВЛАГОЗАПАСОВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПОЧВЫ ЗЕМЕЛЬ НОВОЙ ЗОНЫ ОРОШЕНИЯ ГОЛОДНОЙ СТЕПИ

Материалы по влагозапасам почвы, в частности для орошаемых земель Ильичевского района Сырдарьинской области УзССР (зона действия Голодностепской воднобалансовой станции (ВБС) с общей площадью 45 тыс. га для условий весенне-летнего периода, получены при опытно-производственной эксплуатации сверхвысокочастотного (СВЧ) радиометрического комплекса [2, 4] в условиях Узбекистана в 1984—1986 гг., используемого в качестве аэродистанционного средства определения влагозапасов верхнего слоя почвы.

Анализ синхронных определений влагозапасов почвы по данным самолетного зондирования и наземных измерений термостатно-весовым способом (см. настоящий сборник) показал надежность оценки влагозапасов тридцатисантиметрового слоя обнаженной и слабо покрытой растительностью почвы методом СВЧ.* Ситуация, при которой формировался режим влагозапасов почвы Ильичевского района в весенне-летние периоды 1984—1986 гг., характерна для условий засушливых лет с относительным водным дефицитом.

* Все значения влагозапасов приведены для слоя почвы 0 — 30 см.

По результатам 10 дистанционных СВЧ-съемок с самолета Ан-2 в апреле — июне 1984—1986 гг. составлен массив данных, включающий в себя осредненные влагозапасы W по каждому из 103 полей контура с посевами хлопчатника. За каждый год взяты данные по 3—4 съемкам, проведенным с интервалом 15—20 дней и характеризующим условия формирования влагозапасов в период посев — бутонизация хлопчатника.

По данным предварительного обследования и в соответствии с рекомендациями [4], в контуре Голодностепской ВБС были выбраны поля в количестве $m=2$, на которых наблюдения за элементами водного баланса предположительно должны быть репрезентативными для всего района.

С использованием материалов СВЧ-съемки проведена в первом приближении оценка выборочных средних для влагозапасов почвы и рассмотрена возможность оптимального размещения пунктов измерения влагозапасов почвы применительно к контуру Ω Голодностепской ВБС.

Считая, что для контура Ω имеются n реализаций скалярного поля влагозапасов $W_i(r)$, где i меняется от 1 до 103, необходимо выбрать наименьшее количество m пунктов наблюдений за $W_i(r)$ с координатами r_j , где j меняется от 1 до m (предварительно $m=2$).

Известно [1], что средний квадрат ошибки выборочного среднего S^2 равен

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{W}_i^* - \bar{W}_i)^2, \quad (1)$$

где

$$\bar{W}_i = \frac{1}{\Omega} \int_{\Omega} W_i(r) d\Omega \quad (2)$$

— точное значение средних влагозапасов почвы W для i -й реализации,

$$\bar{W}^* = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m W_i(r_j) \quad (3)$$

— среднее из m пунктов наблюдений (без введения весовых коэффициентов).

В общем виде показано [1], что средний квадрат ошибки выборочной средней S^2 зависит от числа пунктов m и от места их расположения r_j , а под оптимальным размещением пунктов при заданном их числе m понимаются такие их координаты в области Ω , при которых S^2 имеет минимальное значение.

Приняв в качестве критерия минимизации S^2 значения $\Delta_i = \bar{W}^* - \bar{W}_i$, не превышающие $\pm 5\%$ W_i , имеем значения S^2 в интервале 0,06—0,15 мм². Расчеты показали, что таким требованиям для контура Ω Голодностепской ВБС удовлетворяет в среднем количество $m^*=22$ поля, причем m^* по сериям измерений изменяется от 7 до 45 (табл. 1).

Таблица 1

Обеспеченные влагозапасы (мм) почвы, среднеквадратические отклонения σ , количество полей m^* (при $\Delta_i \leq 5\%$)

Период вегетации хлопчатника	Обеспеченность влагозапасов, %					σ мм	m^*
	5	25	50	75	90		
Посев	99	83	71	60	52	16,7	24
»	101	85	56	40	29	20,5	18
»	82	70	55	45	41	16,2	17
Всходы	90	61	50	31	30	20,8	7
»	100	80	72	64	55	19,8	25
»	101	89	74	60	49	18,7	20
3-й лист	102	90	79	71	60	13,5	23
5-й лист	80	73	67	60	60	6,9	45
Бутонизация	100	92	76	73	62	13,0	12
»	61	50	46	41	30	11,3	36

Таким образом, для контура Ω существует не менее 7 реализаций W_i^* , совпадающих с точностью до $\pm 5\%$ с $\bar{W}_i$. Количество полей m^* возрастает с увеличением водообеспеченности $\bar{W}_i$ земель района

$$m^* = 100n \left[\left(\frac{\bar{W}_i}{ПВ} \right)^2 - 0,10 \frac{\bar{W}_i}{ПВ} \right], \quad (4)$$

где ПВ — влагозапасы почвы при полной влагоемкости.

Для данной выборки распределение количества полей n по интервалам влагозапасов W_i близко к нормальному: модальное значение (38%) соответствует W_i на уровне 0,70 НВ (наименьшей влагоемкости), 10% n — на уровне ВЗ (влажности завядания), 27% n — на уровне ПВ.

Анализ координат местоположения r_j пунктов m^* (при $S^2 \leq 0,15$) показал, что нет ни одного пункта (поля), для которого в любой из серий выполняется условие

$$\bar{W}_{i=1}^* = \bar{W}_i. \quad (5)$$

Путем перебора мест r_j — номеров N_i полей m^* — установлено, что вероятность появления одного и того же номера во всех 10 сериях не превышает 40% и существует набор номеров из наименьшего количества в 4 поля, какой-либо номер из которых встречается во всех сериях.

Таким образом, количество пунктов m^* уменьшается до 4, но остается полная временная и пространственная неопределенность схемы их размещения, т. е. неизвестно, когда и какой именно пункт (или набор из m^*) обеспечит реализацию условия (5).

В связи с изложенным, проведен анализ статистической структуры поля W_i применительно к оценке репрезентативности двух

пунктов (под № 6 и 102), априори назначенных для производства воднобалансовых наблюдений на Голодностепской ВБС.

Корреляционная функция, построенная по осредненным трехкилометровым интервалам (средняя длина полей) для контура Ω , не выражена, т. е. изменение коэффициентов корреляции r с увеличением расстояния между пунктами не соответствует обычным закономерностям, свойственным естественным полям гидрометеорологических элементов. Вывод верен и при рассмотрении поведения корреляционных функций по отдельным векторам. Для примера на рис. 1 представлен вид функций по четырем направлениям азимута относительно поля № 6; здесь ось ординат — r , ось абсцисс — L км. Распределение количества полей контура по значениям парных коэффициентов корреляции близко к нормальному, модальное значение для каждого вектора в интервале 0,20—0,65 r , мода не превышает 20—25% суммы n .

Результаты предварительного анализа корреляционных функций влагозапасов W_i контура Ω , отсутствие надежных зависимостей $\sigma_W = f(W_i)$ показали малую эффективность применения стандартного анализа статистической структуры природных полей к полям влагозапасов почвы в условиях орошения, особенно для разработки схемы оптимального размещения пунктов измерений влагозапасов на контуре Голодностепской ВБС.

В результате анализа поля значений парных коэффициентов корреляции выделены зоны с различной степенью синхронности и направленности процессов формирования режима влагозапасов верхнего слоя почвы, что позволило оценить репрезентативность полей № 6 и 102 и обосновать степень детализации СВЧ-съемок влагозапасов.

Расчеты репрезентативности полей № 6 и 102 выполнены по методу Д. Рихтера [3], в котором критериями репрезентативности приняты: парные коэффициенты корреляции $r > 0,80$, σ эталонного пункта и σ_c сравниваемого пункта, коэффициент сходимости $M \geq 0,90$, где M определяется по формуле

$$M = 1 - \frac{\bar{W}_i - \bar{W}_i^*}{0,5 (\bar{W}_i + \bar{W}_i^*)}. \quad (6)$$

Для эталонного поля № 6 с посевами хлопчатника критерий по r выполняется в 90% случаев, значения σ_i отличаются от $\sigma(\Omega)$ на

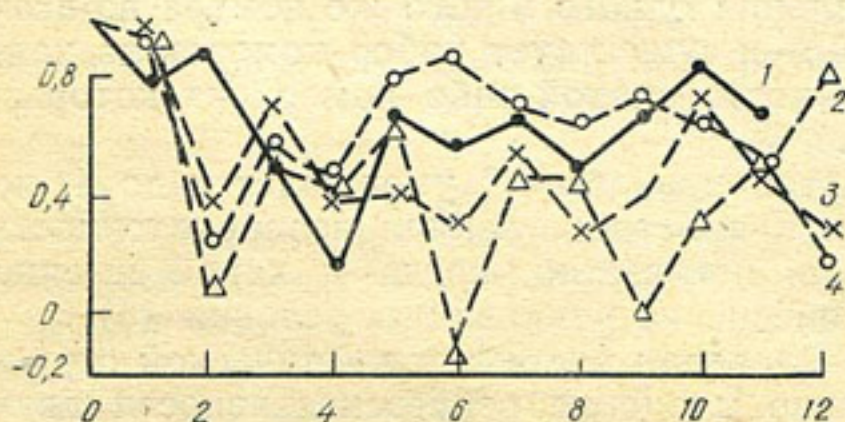


Рис. 1. Корреляционная функция влагозапасов почвы орошаемых земель по азимутам 60° (1), 90° (2), 110° (3) и 120° (4)

$\pm 5\%$ в 20% случаев, на $\pm 10\%$ в 40% случаев, на $\pm 20\%$ в 40% случаев; критерий по M не выполняется в 20% случаев.

Таким образом, если принять допустимые отклонения по σ_i в пределах до $\pm 20\% \sigma(\Omega)$, влагозапасы $\bar{W}_i$ поля № 6 будут репрезентативны для контура в 70% случаев; для $\bar{W}_i$ поля № 102 соответственно в 55%. При снижении уровня допуска по $\Delta\sigma$ до $\pm 10\%$ репрезентативность данных $\bar{W}_i$ по реперным полям не превысит 20%, а при $\Delta\sigma = \pm 5\%$ поля вообще не репрезентативны.

Расчеты обеспеченности отклонений средних влагозапасов контура от выборочных влагозапасов $\bar{W}_i$ полей № 6 и 102 показали, что отклонения в $\pm 10\%$ случаев обеспечены соответственно на 41 и 12%, в $\pm 20\%$ — на 90 и 71% и в $\pm 30\%$ — на 100 и 71%.

Для частного орошаемого массива совхоза № 6, на землях которого расположены реперные поля № 6 и 102, проведены расчеты обеспеченностей отклонений средних величин влагозапасов массива от влагозапасов этих полей. Установлено, что отклонения в $\pm 10\%$ обеспечены (соответственно для влагозапасов полей № 6 и 102) на 60 и 37%, в $\pm 20\%$ — на 95 и 80% и в $\pm 30\%$ на 100%, т. е. средние влагозапасы реперных полей характеризуют водообеспеченность посевов хлопчатника совхоза с ошибкой до $\pm 30\%$.

Отдельно рассмотрена структура поля влагозапасов почвы для посевов характерных сельскохозяйственных культур района: хлопчатника (поле № 3), многолетней люцерны (поле № 5) и зерновых (поле № 2). Корреляционные функции W , построенные по осредненным интервалам влагозапасов для элементарных площадок размером 0,7 га, расположенных вдоль центральной оси полей, представлены на рис. 2. Ординаты функций монотонно убывают при увеличении расстояния для поля № 3, а для посевов люцерны и зерновых культур точка перегиба функции находится в интервале 1,7—1,8 км. Зависимость вида $\sigma = f(\bar{W}^*)$ для всех полей не выражена.

Для случая нормального распределения выполнены расчеты, приведенные в табл. 2, при доверительной вероятности 95% ($t = 1,96$) по уравнению

$$m = \frac{t^2 C_v^2}{Q^2}, \quad (7)$$

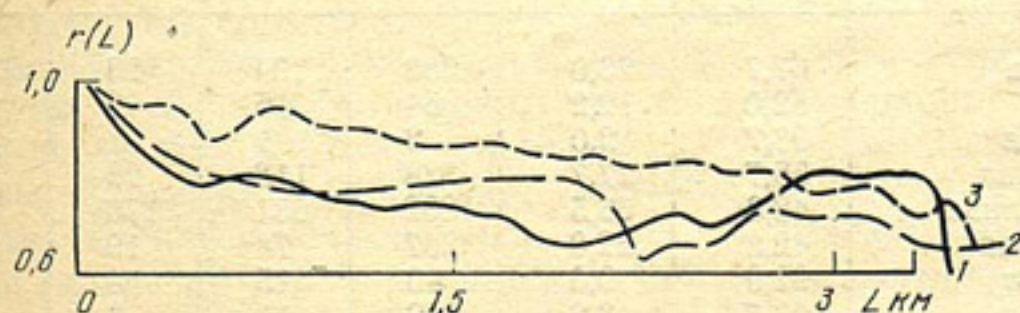


Рис. 2. Корреляционная функция влагозапасов почвы для элементарных площадок с посевами хлопчатника (1), люцерны (2), зерновых (3)

где C_v — коэффициенты вариации влагозапасов (%), рассчитанные по данным СВЧ-съемок.

Для полей № 2 и 5 выполнены аналогичные расчеты, причем количество пунктов при заданных Q в целом соответствует данным, приведенным в табл. 2.

Короткие ряды наблюдений ограничивают возможность проведения надежного анализа; предварительно следует отметить значительную асимметрию распределения влагозапасов по площадям.

Расчеты погрешности оценки средних $\bar{W}_i(\Omega)$ полей при различном количестве m_i элементарных площадок, размещенных в основном в центральной части полей, показали, что при оценке выборочного среднего $\bar{W}_i^*$ (для полей, занятых посевами хлопчатника, люцерны и зерновых) по данным 2—3 площадок погрешность Δ_i не превышает $\pm 5\%$ в 40—50% случаев, $\pm 10\%$ в 70—80% случаев, наибольшие ошибки достигают $\pm 36—51\%$.

Для посевов люцерны погрешность Δ_i не превышает $\pm 5\%$ в 20% случаев, $\pm 10\%$ — в 60%, $\pm 15\%$ — в 80% случаев; для поля № 2 с посевами зерновых — до $\pm 5\%$ в 40% случаев, $\pm 10\%$ — в 60% случаев, $\pm 15\%$ — в 100% случаев, наибольшая ошибка оценки среднего дня поля № 2 не превышает 25%. Значительная пространственная изменчивость влагозапасов характерна для периодов поливов, до и после поливов она относительно невелика.

Степень детализации при производстве СВЧ-съемок и обработке результатов определяется заданной точностью оценки влагозапасов, их изменчивостью. Применительно к условиям весенне-летнего периода для контура Голодностепской ВБС на основе исследований статистической структуры поля влагозапасов разработаны две схемы СВЧ-съемок: детальная — с облетом основных орошаемых массивов и полей контура и основная — по четырем

Таблица 2

Количество элементарных площадок m , обеспечивающее определение средних влагозапасов $\bar{W}$ орошаемого поля с заданной погрешностью Q

Поверхность	$\bar{W}_i$ мм	C_v %	$Q\%$				
			3	5	10	15	20
После полива	67,7	26,0	289	104	26	12	1
До полива	52,0	12,2	64	16	6	4	1
После полива	98,7	2,0	2	1	1	1	1
Начало полива	55,7	27,7	328	118	29	13	7
Во время полива	48,3	66,5	1892	681	170	76	42
Начало полива	42,3	22,0	207	74	19	9	5
После полива	92,9	9,6	40	15	4	2	1
После полива	93,7	8,2	29	11	3	2	1
До полива	37,8	12,3	65	24	3	2	1
До полива	44,7	7,0	21	8	2	1	1

трассам, проложенным на расстоянии 5 км друг от друга по характерным массивам. Затраты летного времени при средней производительности съемки влагозапасов с самолета Ан-2 в 1000 га/ч составляет для первой схемы 5,5 ч, для второй — 1 ч 20 мин.

Таким образом, для оперативной и надежной оценки влагозапасов почвы слоя 0—30 см в весенне-летний период для условий орошаемого земледелия аэродистанционный СВЧ-радиометрический метод является вполне пригодным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Денисов Ю. М. Средний квадрат оценки выборочного среднего и метод оптимального размещения пунктов наблюдений. — Труды САРНИГМИ, 1973, вып. 3(84), с. 114 — 117.
2. Кондратьев К. Я. и др. Дистанционное определение запасов продуктивной влаги в почве/Кондратьев К. Я., Рабинович Ю. И., Шульгина Е. М., Мелентьев В. В. — Метеорология и гидрология, 1977, № 6, с. 78 — 88.
3. Харченко С. И. Гидрология орошаемых земель. — Л.: Гидрометеониздат, 1975. — 372 с.
4. Шитов В. Д., Леонидов В. А. Исследование самолетного сверхвысоко-частотного радиометрического метода измерения влажности почв в целях программирования урожая. — В кн.: Программирование урожаев сельскохозяйственных культур на орошаемых землях. — М.: Изд. ВНИИГиМ, 1984, с. 188 — 194.

В. В. БЛАГОВ, В. О. УСМАНОВ, Т. А. АЛИЕВА

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ АЭРОДИСТАНЦИОННОГО СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАГОЗАПАСОВ ПОЧВЫ ДЛЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

В настоящее время для характеристики водообеспеченности сельскохозяйственных посевов в системе Госкомгидромета в качестве основного метода измерения влажности почвы применяется термостатно-весовой способ. Известно, что это весьма трудоемкий метод, обеспечивающий невысокую производительность труда, низкую оперативность и плохую репрезентативность результатов измерений. Так, для всех пахотных земель Узбекистана в среднем один пункт определения влагозапасов почвы приходится на 70 тыс. га. Очевидно, для оперативной оценки распределения влагозапасов по территории необходим качественно иной подход.

В последнее время широкое применение получил аэродистанционный сверхвысокочастотный (СВЧ) метод определения влагозапасов почвы [1—3]. Этот метод основан на измерении интенсивности радиоизлучения (радиояркостной температуры) почвы в сантиметровом диапазоне волн, которое определяется как физическими характеристиками грунтов (гранулометрическим соста-

вом, типом почв, вертикальным профилем распределения влажности, термодинамическим состоянием), так и параметрами, характеризующими состояние их поверхности (шероховатостью, наличием растительного покрова, степенью покрытости биомассой) [3]:

$$x = f(W_n, W_p, \rho, T, \delta T), \quad (1)$$

где x — интенсивность шумового радиоизлучения почвы в сантиметровом диапазоне; W_n — влагосодержание почвы; W_p — влагосодержание растительного покрова; ρ — параметр, характеризующий гранулометрический состав и тип почвы; T и δT — температура почвы и градиент температуры.

Точность определения влагозапасов почвы W_n СВЧ-методом зависит от учета степени влияния каждого из перечисленных в зависимости (1) параметров. Для оценки влагозапасов почвы орошаемой и богарной территории Узбекистана нами использовался влагомер радиометрический СВЧ-диапазона, установленный на борту самолета Ан-2. Прибор обеспечивает измерение радиояркостной температуры исследуемой поверхности с одновременным преобразованием напряжения, пропорционального радиояркостной температуре ($U_{т.я}$), в напряжение, пропорциональное влажности (U_w) исследуемой поверхности.

Для выявления погрешностей, вносимых в показания прибора за счет влияния влаги, содержащейся в биомассе растений, степени минерализации почвы, шероховатости и температуры поверхности, проведены синхронные измерения влагозапасов тридцатисантиметрового слоя почвы термостатно-весовым и СВЧ-радиометрическими методами на специальных тестовых площадках. Измерения проводились в 1984—1986 гг. на территории Сырдарьинской и Джизакской областей (орошаемые и богарные земли). Размеры площадок определялись заданной высотой полета и при высоте съемки 50 м составляли 30×30 м. Пробы почвы на влажность отбирались в 10 точках тестовой площадки на поверхности и на глубинах 5, 10, 15, 20 и 30 см. В 2—3 точках определялась температура почвы на глубинах 5 и 30 см, а также объемный вес и общая минерализация почвы. Учитывались состояние биомассы (высота и густота стояния растений, фаза вегетации) и вид растительного покрова.

Пролет самолета с СВЧ-радиометрическим комплексом над тестовыми площадками повторялся 3—4 раза, что обеспечивало надежную привязку наземных измерений к записям на ленте самописца.

Результаты сравнения наземных и дистанционных измерений на богарных и орошаемых землях, выполненных в 1984 г., представлены в табл. 1, где $\Delta W_{\max}$ — наибольшие значения отклонений точечных наземных измерений влагозапасов почвы от среднего, $\Delta W^*_{\max}$ — то же при СВЧ-радиометрических измерениях влагозапасов.

Таблица 1

Влагозапасы в слое 0—30 см, измеренные наземным и дистанционным методами на тестовых участках

Участок	Данные наземных измерений					Данные дистанционных измерений	
	$\bar{W}$ мм	$\Delta W_{\max}$	$W_{\text{меднан}}$	σ мм	ρ	$\bar{W}$ мм	$\Delta W_{\max}^*$
Хлопчатник	66,85	-10,53 +8,51	68,65	5,83	1,35	70,1	-1,0 +2,0
	66,02	-5,27 +3,56	66,83	3,44	1,35	62,0	-0,5 +1,5
	79,50	-16,61 +11,34	76,34	9,88	1,35	85,2	-1,0 +2,0
	87,16	-17,42 +8,91	89,30	7,41	1,35	90,1	-2,5 +0,8
Люцерна	72,10	-6,30 +10,35	81,45	4,95	1,50	79,0	0,5
Хлопчатник	72,10	-9,72 +5,67	72,29	4,78	1,35	74,1	-1,5 +0,5
Озимая пшеница	60,40	-5,45 +5,00	62,20	4,03	1,29	58,0	-5,0 +2,0
	59,90	-8,04 +11,70	59,00	6,08	1,29	57,0	-3,5 +2,0
Естественное разнотравье (целина)	50,13	-11,77 +8,67	50,67	8,84	1,39	54,0	0,5
Естественное разнотравье (залежь)	63,60	-12,05 +9,25	63,04	7,21	1,42	61,0	-2,0 +1,5

Для оценки вклада параметров зависимости (1) проведены наземные и дистанционные измерения на тестовых площадках, расположенных на полях совхозов № 3—6 Джизакской области, а также использованы материалы наблюдений агрометеорологической и воднобалансовой сети станций Узбекского УГКС.

В сериях измерений 1984—1986 гг. установлено незначительное влияние на показания радиометра температуры почвы $t_{\text{п}}$ и воздуха $t_{\text{в}}$, объемного веса ρ грунтов. Полный коэффициент корреляции R зависимости

$$\bar{W}_{\text{свч}} = f(t_{\text{п}}, t_{\text{в}}, \rho) \quad (2)$$

не превышает 0,41; доли вклада распределяются так: 0,792 — $t_{\text{в}}$, 0,044 — $t_{\text{п}}$, 0,164 — ρ .

По данным синхронных измерений на посевах хлопчатника, люцерны, богарных землях и пахоте получено уравнение

$$W_{\Pi} = 0,69 W_{\text{СВЧ}} + 11,0\omega + 12,3; \quad R = 0,96 \pm 0,02, \quad (3)$$

где W_{Π} — влагозапасы почвы в слое 0—30 см, в мм; $W_{\text{СВЧ}}$ — влагозапасы, определенные с помощью СВЧ-радиометра, мм; ω — листовой индекс — суммарная площадь листьев, приходящаяся на единицу площади посевов.

Проверка уравнения (3) на независимом материале 1986 г. (две серии съемок) показала, что отклонения рассчитанных влагозапасов от измеренных термостатно-весовым способом не превышают $\pm 30\%$.

Для оценки влагозапасов почвы СВЧ-методом на полях с развитым растительным покровом в условиях засоления земель получена следующая зависимость:

$$W = 0,85 W_{\text{СВЧ}} - 2,29M - S - 0,39; \quad R = 0,82 \pm 0,04, \quad (4)$$

где M — биомасса растительного покрова, ц/га; S — общая минерализация почвы, г/см³.

Проверка уравнения (4) на независимом материале показала, что отклонения в 83% случаев лежат в пределах $\pm 30\%$ от величин, измеренных термостатно-весовым способом.

Некоторые результаты статистической обработки данных СВЧ-измерений, характеризующих режим влагозапасов почвы слоя 0—30 см на орошаемых землях Сырдарьинской и Джизакской областей и богарных посевах Самаркандской области, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Характерные средние влагозапасы ($\bar{W}$ мм), их среднеквадратические отклонения (σ) и коэффициенты вариации (C_v) для различных периодов вегетации хлопково-люцернового севооборота и богарного земледелия в 1986 г.

Месяц	Декада	г. Чиназ — г. Сырдарья; хлопчатник			г. Сырдарья — Славянка; хлопчатник — люцерна		
		$\bar{W}$	σ	C_v	$\bar{W}$	σ	C_v
Март	1-я	55,0	16,8	0,30	47,7	15,9	0,33
	2-я	40,6	10,5	0,26	115,1	21,5	0,19
	3-я	38,7	8,2	0,21	67,1	43,8	0,65
Апрель	1-я	55,9	8,0	0,14	90,7	12,9	0,18
	2-я	57,4	7,3	0,12	95,2	23,5	0,25
	3-я	39,3	10,2	0,26	57,3	10,4	0,18
Май	1-я	39,4	9,97	0,25	53,0	28,4	0,54
	2-я	68,8	10,1	0,15	69,1	113,2	1,63
	3-я	36,5	14,4	0,39	41,5	27,5	0,66
Июнь	1-я	47,5	15,5	0,32	71,2	93,9	1,32

Месяц	Декада	г. Пахтаабад — г. Джизак; хлопчатник — люцерна			г. Джизак — г. Галляарал; богара — зерновые		
		$\bar{W}$	σ	C_v	$\bar{W}$	σ	C_v
Март	1-я	47,4	12,2	0,26	40,1	4,99	0,20
	2-я	40,6	12,1	0,29	32,3	6,6	0,20
	3-я	79,5	9,6	0,12	39,5	8,9	0,23
Апрель	1-я	68,2	8,4	0,12	64,5	4,3	0,07
	2-я	34,3	10,0	0,29	63,9	16,2	0,25
	3-я	40,7	10,1	0,25			
Май	1-я	44,1	14,1	0,32			
	2-я	96,7	80,9	0,86			
	3-я	48,2	66,9	1,39			
Июнь	1-я	65,6	59,9	0,91			

В качестве характеристики статистической структуры поля влагозапасов почвы по данным СВЧ-радиометрической съемки построены корреляционные функции отдельно для орошаемых и богарных земель, показанные на рис. 1, где $r(l)$ — изменение тесноты парных коэффициентов корреляции в зависимости от расстояния между пунктами измерений.

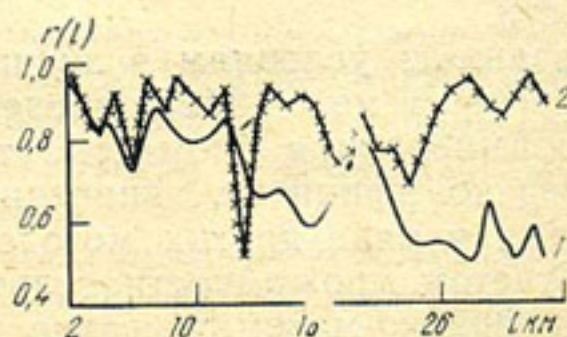
Частные коэффициенты корреляции осреднялись по десятикилометровым интервалам. Для зоны орошения корреляционные функции не выражены, прослеживаются различия в структуре поля влагозапасов новой зоны орошения (п. Пахтаабад — г. Джизак) и староорошаемых земель (г. Чирчик — г. Сырдарья).

Для богарных посевов (г. Джизак — п. Галляарал) ординаты корреляционных функций имеют выраженную тенденцию к убыванию, на фоне которой имеются отдельные увеличения ординат, что обусловлено, видимо, различиями в формировании режима влагозапасов всхолмленной территории и ее орографическими особенностями.

Применительно к орошаемому и богарному земледелию Узбекистана разработана предварительная схема проведения СВЧ-съемок влагозапасов почвы, определены районы работ, цель и степень детализации съемок, уточнены пределы применимости СВЧ-радиометрического метода.

Корреляционная функция влагозапасов почвы:

1 — для богарных земель (г. Джизак — г. Галляарал), 2 — для орошаемых земель (г. Пахтаабад — г. Джизак)



Установлено, что наиболее эффективно СВЧ-метод может быть применен к задачам гидрометобеспечения народного хозяйства в периоды посева—всходов, бутонизации (выхода в трубку зерновых) сельскохозяйственных культур, а для пастбищ — перед началом активной вегетации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Башаринов А. Е., Шутко А. М. Измерение влажности покровов методами сверхвысокочастотной радиометрии. — Метеорология и гидрология, 1971, № 9, с. 17 — 23.
2. Кондратьев К. Я. и др. Дистанционное определение запасов продуктивной влаги в почве/Кондратьев К. Я., Рабинович Ю. И., Шульгина Е. М., Мелентьев В. В. — Метеорология и гидрология, 1977, № 6, с. 78 — 79.
3. Попов А. Е., Шарков Е. А., Эткин В. С. Характеристики излучения влажных грунтов в СВЧ-диапазоне. — Метеорология и гидрология, 1974, № 10, с. 49 — 57.

В. О. УСМАНОВ, В. В. БЛАГОВ

ОСНОВЫ МОДЕЛИ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ ХЛОПЧАТНИКА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ВОДНОБАЛАНСОВЫМ РАСЧЕТАМ

В настоящее время выделяют физиологические, почвенные и метеорологические показатели влагообеспеченности растений, связанные с тремя основными группами факторов, обуславливающих водопотребление культур: биологическими, почвенно-гидрологическими и климатическими, характеризующими состояние системы почва — растение — атмосфера.

В соответствии с этим делением имеются различные подходы к оценке водопотребления растениями, основанные на биологических методах диагностики влагообеспеченности, на агрометеорологических показателях и гидрометеорологических параметрах водообеспеченности. В условиях поливного земледелия водный режим растений определяется режимом орошения и величиной оросительной нормы.

Анализ физической сущности различных методов назначения режима орошения показал, что надежное обоснование норм и режима можно дать при условии учета воднобалансовых, метеорологических и биологических показателей, интенсивности влагообмена в зоне аэрации и теплового баланса подстилающей поверхности.

Указанным условиям в значительной мере отвечает тепловоднобалансовый метод [12] определения режима орошения, но процесс формирования биомассы этим методом учитывается косвенно через коэффициент, значения которого табулированы. В это же время в ряде других методов рассматривается водопотребление с учетом урожайности сельскохозяйственных культур, разработаны физико-математические и динамико-статистические моде-

ли [12] типа «Погода—урожай», позволяющие получить численную оценку влияния условия вегетации на агрометеорологический режим и продуктивность посевов некоторых видов сельскохозяйственных культур.

В целях комплексной оценки водопотребления хлопчатником применительно к воднобалансовым расчетам в данной работе предлагается модель, учитывающая основные гидрологические параметры и агрометеорологические показатели развития растений, где в качестве входной используется стандартная гидрометеорологическая информация.

В основу модели положены обобщенные эмпирические зависимости, полученные по материалам исследований закономерностей формирования водопотребления хлопчатника в Голодной степи [8] и Ферганской долине [9], входивших в комплекс воднобалансовых работ. Комплекс включал в себя наблюдения за режимом и нормой орошения, динамикой грунтовых вод и влагозапасов зоны аэрации, коллекторно-дренажным стоком, за суммарным испарением, транспирацией и другими элементами водного обмена хлопчатника, состоянием биомассы и химическим составом почвогрунтов. Дополнительно использованы материалы наблюдений сети воднобалансовых станций Узбекского УГКС.

В целом модель состоит из блоков: биологического, расчета транспирации и суммарного испарения. В качестве входной информации использованы следующие данные: температура воздуха (t_v), упругость водяного пара (e), осадки (x), количество часов солнечного сияния (T_c), уровень грунтовых вод (H), воднофизические характеристики почвы — наименьшая влагоемкость ($W_{н.в.}$), влажность завядания ($W_{в.з.}$) — и характеристика типа почвы по гранулометрическому составу — содержанию физической глины, вид и степень засоления почвы.

В биологическом блоке производится расчет дат начала вегетации, сева, наступления 50% фаз вегетации (всходы, бутонизация, цветение, раскрытие коробочек), даты формирования максимальной листовой поверхности, дат чеканки, дефолиации, окончания вегетации (даты губительного заморозка).

Даты наступления фенофаз определяются по суммам эффективных температур воздуха [6] и при необходимости могут корректироваться с учетом термического режима в среде растений, отличного, как известно, от хода температуры воздуха на стандартной высоте 2,0 м. Предусмотрен сдвиг начала сева (или посева) в случае, если продолжительность периода посев — всходы превышает две декады. В этом блоке также рассчитывается высота растений (h), количество плодовых веток (симподий), площадь листовой поверхности, листовой индекс (ω), т. е. площадь листьев, приходящаяся на единицу площади посева и урожайность хлопчатника.

Рост хлопчатника представлен как функция температуры воздуха, влагозапасов почвы (W_i), концентрации токсичных солей (S_i), величины ценотического действия, характеризуемого густо-

той стояния растений (N) и условиями минерального питания (M).

$$h = f(t_{\text{в}}, W_i, S_i, N_i, M_i). \quad (1)$$

Так как каждая фенофаза характеризуется генетически обусловленными особенностями своего развития, рост хлопчатника рассчитывается отдельно для трех основных периодов вегетации: всходы — бутонизация, бутонизация — цветение, цветение — созревание. Уравнение роста хлопчатника для каждого периода аппроксимируется кривой распределения Пирсона 1-го типа, где величина прироста высоты (Δh_{max}) за расчетный период (сутки, декада) поставлена в зависимость от температуры воздуха [5] в диапазоне $t_{\text{min}} \leq t_i \leq t_{\text{max}}$, который определен отдельно для конкретного периода, так же как и оптимальные значения прироста, соответствующие температуре воздуха t_{opt} , находящейся внутри диапазона. Расчет значения Δh_{max} ведется для принятой за исходную густоту стояния 70—80 тыс. растений на га и далее корректируется с учетом фактической густоты N . Высота хлопчатника определяется путем суммирования приращения Δh . Изменение величины прироста в условиях, отличных от расчетного минерального питания, применение стимуляторов или ингибиторов роста учитывается через коэффициенты, значения которых для данной модели приняты равными единице.

Расчетное уравнение прироста высоты (см) для декад вегетационного периода имеет вид

$$\Delta h_{\text{max}} = a_i (b_i t_{\text{в}} - c_i)^{\gamma_1} (d_i - j_i t_{\text{в}})^{\gamma_2}, \quad (2)$$

где параметры a, b, c, d, j, γ для трех указанных периодов соответственно принимают численные значения: $a_i = 6,0; 20,0; 12,0$; $b_i = 0,125; 0,143; 0,167$; $c_i = 2,0; 2,25; 3,33$; $\gamma_1 = 2,56; 2,29; 1,52$; $d_i = 3,67; 3,67; 4,71$; $j_i = 0,110; 0,110; 0,147$; $\gamma_2 = 2,88; 2,29; 1,78$.

Учет влияния густоты стояния растений, отличной от исходной, а также влияния засоления почвы на рост хлопчатника учитывается по зависимости

$$h_i = h_{\text{max}} \exp [kN - m(S_i - S_0)], \quad (3)$$

где k и m — численные параметры, S_0 и S_i соответственно нетоксичное и фактическое содержание в данном случае солей хлора.

При необходимости возможен учет влияния продолжительности солнечного освещения на рост и развитие хлопчатника, а также влияние а зональных факторов, таких как экспозиция склонов, затенение от кустарниково-древесных насаждений вдоль поля и др.

Текущая корректировка прироста высоты хлопчатника в зависимости от влагозапасов почвы (W_i) проводится по уравнению

$$\Delta h_i = \Delta h_{\text{max}} \frac{W_i - (W_{\text{в.з}} - 0,01 \omega)}{(W_{\text{н.опт}} - 0,025 \omega) - (W_{\text{в.з}} - 0,01 \omega)}, \quad (4)$$

где значения влагозапасов W_i даны в долях от $W_{\text{н.в}}$; $W_{\text{н.опт}}$ —

нижняя граница оптимального увлажнения почвы для начальных периодов вегетации, принятая равной 0,8.

Введение поправок на изменение нижних границ оптимального увлажнения и влажности завядания по мере развития растения обусловлено экспериментально установленным [7, 10] эффектом расширения к концу вегетации границ влагозапасов, при которых не происходит существенного изменения прироста высоты и величин испарения с хлопчатника.

Количество симподий определяется по текущей (вычисленной) высоте куста с учетом высоты закладки первого симподия и густоты стояния N . Площадь листовой поверхности рассчитывается по высоте (h_i) и количеству симподий. Более подробно расчет изложен в [10].

Изменение мощности корнеобитаемого слоя ($h_{кi}$) или глубины проникновения основной массы корней хлопчатника определяется по уравнению [11]:

$$h_{кi} = k_0 [h_{кmax} - \exp(-H)] [(1 - \exp(-\omega))], \quad (5)$$

где k_0 — коэффициент, учитывающий влияние способа орошения на распределение вглубь корневой системы растений; $h_{кmax}$ — наибольшая глубина корнеобитаемой зоны в условиях глубокого залегания УГВ и оптимальных влагозапасов почвы.

Таким образом, мощность корнеобитаемой зоны определяется по степени развития надземной массы, учитываемой через листовой индекс ω и по положению уровня грунтовых вод в период максимальной интенсивности формирования корневой системы (цветение — плодообразование).

Для оценки условий формирования урожая хлопчатника по отдельным периодам развития получены зависимости урожая от сумм транспирации или суммарного испарения за эти же периоды [1, 8]. Дополнительно по значению транспирации (E_T) или суммарного испарения (E_c) за период всходы — первый сбор дается прогнозная оценка урожая (y) в долях от максимального, принятого равным 55—60 ц/га по зависимостям:

$$y = (0,002E_T)^{7,0} (2,00 - 0,002E_T)^{7,0}, \quad (6)$$

$$y = (0,00125E_c)^{4,8} (5,00 - 0,005E_c)^{1,2}. \quad (7)$$

С учетом биологических параметров рассчитывается фактическая (y_f) и наибольшая (y_n) урожайность, причем y_n учитывает потенциальный урожай, сформировавшийся без опадения плод-элементов, обусловленного стрессовыми ситуациями (воздушной засухой, сильным ветром) и, видимо, частично биологическими факторами, приводящими к сбросу плод-элементов,

$$y_f = k_y (h_{p.k} - h_0), \quad (8)$$

где $h_{p.k}$ и h_0 — соответственно высоты хлопчатника на даты раскрытия коробочек и бутонизации; k_y — эмпирический коэффициент, определяемый густотой стояния растений и изменяющийся

от 0,572 до 0,786 при увеличении густоты N от 80 до 250 тыс. растений на га;

$$y_n = y_\phi k_n, \quad (9)$$

где k_n — коэффициент, изменяющийся в пределах 1,25—1,60 с увеличением густоты стояния, в указанных для зависимости (8) пределах.

Для блока расчета транспирации в основу эвристических зависимостей, описывающих процесс транспирации, положены материалы натурных наблюдений за формированием транспирации с использованием гидрометеорологических и биологических методов исследований, в частности с применением адсорбционных микро-транспираторов и гигрометров Агрофизического института [4, 10].

В зависимости от наличия информации и степени освоенности района, для которого проводится расчет, предлагаются два основных варианта оценки максимальной интенсивности (i_0) транспирации, под которой понимается интенсивность транспирации молодых листьев верхнего яруса куста хлопчатника, вегетирующего в оптимальных условиях водообеспеченности и малой степени засоления почвы в данных климатических условиях.

Значение i_0 определяется в зависимости от приближенного значения дефицита влажности (d) воздуха, рассчитанного как разность между максимальной упругостью водяного пара (e_t) и фактической упругостью, причем значения e_t вычисляются по средней температуре воздуха.

Расчет i_0 проводится по зависимости

$$i_0 = i_{0\max} (0,05d - 0,50)^{1,44} (1,60 - 0,02d)^{2,40}, \quad (10)$$

где $i_{0\max}$ — предельное среднее за дневной период значение интенсивности транспирации, принятое равным $7,2 \cdot 10^{-4}$ г/см² · мин.

Имеются и другие (кусочно-линейные) представления зависимости (10), дающие близкие результаты.

Второе уравнение для расчета i_0 предназначено для оценочных расчетов интенсивности транспирации при условии нерепрезентативных для посевов хлопчатника значений упругости водяного пара, взятых по данным наблюдений на гидрометстанциях, расположенных вне орошаемой зоны. Оно записывается в виде

$$i_0 = i_{0\max} (0,05 t_n - 0,25)^{4,1} (4,72 - 0,143 t_n)^{2,0}, \quad (11)$$

где значение $i_{0\max}$ принимается таким же, как и для зависимости (10).

Средняя интенсивность (i) транспирации со всей листовой поверхности куста хлопчатника определяется по данным о структуре посевов и влагозапасах почвы

$$i = i_0 \exp - (0,25 \omega - 0,01 \omega^{2,0}) f(W), \quad (12)$$

где $f(W)$ — рассчитывается аналогично формуле (4).

Величина транспирации посевов подсчитывается с учетом продолжительности солнечного сияния (T_c) за количество дней расчетного периода и густоты стояния растений (N).

Блок «Испарение» предназначен для расчета величин: испарения с поверхности почвы, которое в сумме с транспирацией дает суммарный расход влаги на испарение; суммарного испарения с использованием некоторых эмпирических зависимостей; расхода грунтовых вод в зону аэрации; элементов водного баланса зоны аэрации. Испарение с поверхности почвы ($E_{\text{п}}$) определяется по величине испаряемости E_0 , рассчитанной по методике ГГО [12], влагозапасам почвы и листовому индексу

$$E_{\text{п}} = 0,70 E_0 \exp(-0,5\omega) \frac{W_i}{W_{\text{н.в}}}, \quad (13)$$

$E_{\text{п}}$ суммируется с $E_{\text{т}}$ и рассчитывается величина суммарного испарения.

Для другого варианта модели суммарное испарение считается по выражению

$$E_c = E_0 \left\{ \beta_0 \frac{W_i}{W_{\text{н.в}}} + [(\beta_{\text{max}} - \beta_0) (1 - \exp(-c\omega))] \right\} \frac{W_i}{W_{\text{н.в}}}, \quad (14)$$

где первое слагаемое в фигурных скобках правой части характеризует физическое испарение под пологом растений, а второе — продуктивное испарение растительного покрова. В выражении (14) параметры β_0 и β_{max} корректируют значения испаряемости с целью достижения соответствия между фактическими и вычисленными величинами; соответственно они равны 0,70 и 1,53; c — коэффициент, учитывающий действующую часть листовой поверхности, равный 0,9.

Для расчета испарения по температуре воздуха получена региональная зависимость вида

$$E_c = a_t t_{\text{в}} \frac{W_i}{W_{\text{н.в}}}, \quad (15)$$

где a_t — температурный (биофизический) коэффициент, равный

$$a_t = a_{t_{\text{п}}} + [(a_{t_{\text{max}}} - a_{t_{\text{п}}}) (1 - \exp(-c\omega))], \quad (16)$$

где $a_{t_{\text{max}}}$ — наибольшее значение коэффициента испарения при максимальном развитии листовой поверхности, равный для декадных значений 1,50; $a_{t_{\text{п}}}$ — коэффициент испарения с поверхности почвы, изменяющийся в пределах 2,10—2,30 в зависимости от влагозапасов почвы, принятый равным 2,30 в уравнении (15).

Расчет по зависимостям (14)—(16) проводится при влагозапасах почвы не ниже 0,70—0,75 $W_{\text{н.в}}$, когда закономерности расхода почвенной влаги на физическое испарение и транспирацию практически одинаковы [2, 3].

Определение расхода (I) грунтовых вод в зону аэрации проводится по данным о глубине УГВ, мощности корнеобитаемой зоны,

гранулометрическому составу грунтов зоны аэрации, величине коллекторно-дренажного стока [11].

Расчеты в данной модели замыкаются на решении уравнения водного баланса относительно влагозапасов почвы

$$W_{i+1} = W_i + x - E_c + I \quad (17)$$

и ведутся для четырех фиксированных густот стояния растений 90, 110, 200, 250 тыс. растений на га и заданных глубин УГВ: 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; глубокое залегание, причем использованы все комбинации с указанными выше схемами оценки испарения.

Проводится расчет режима орошения; критерием для назначения сроков полива является снижение влагозапасов в период всходы — раскрытие коробочек до уровня 0,70 $W_{н.в.}$, а величина поливной нормы (или водоотведения) определяется дефицитом (избытком) влаги в слое 0—100 см.

Расчеты по данной модели, выполненные на независимом материале наблюдений опорной воднобалансовой сети станций (Бозсу, Акалтын, Федченко), показали удовлетворительное совпадение фактических и расчетных значений элементов биомассы. Так, в 78% случаев ошибка расчета высот хлопчатника не превышала $\pm 5\%$, в 18% случаев — $\pm 10\%$ и в 4% случаев — $\pm 20\%$.

Оценка величин испарения: 1) по сумме физического испарения и транспирации дается в среднем с ошибкой $\pm 8,8\%$, при наибольшей ошибке в 19,7%; 2) с использованием коэффициента β приводит в среднем к погрешности $\pm 6,3\%$ при наибольшей $\pm 8,9\%$; 3) с применением коэффициента a_t ошибка соответствует в среднем $\pm 4,5\%$ при наибольшей — $\pm 8\%$.

В дальнейшем при усовершенствовании модели предусматривается рассчитывать изменение УГВ, ввести оценку влияния неблагоприятных гидрометеорологических факторов на формирование урожайности хлопчатника, например значительных осадков, приводящих к образованию почвенной корки, воздушной засухи, полеганию хлопчатника под влиянием сильного ветра в условиях супесчаных почв и т. п.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будаговский А. И., Лозинская Е. А. Теория суммарного испарения и ее приложения. — Водные ресурсы, 1976, № 2, с. 34 — 35.
2. Будаговский А. И., Джоган Л. Я. Пути последовательного уточнения методики расчета оросительных норм. — Водные ресурсы, 1980, № 6, с. 29 — 51.
3. Доронина С. И., Иванов Ю. Н. Сравнение существующих методов расчета и измерения испарения с хлопковых полей. — Труды САНИИ Госкомгидромета, 1980, вып. 74(155), с. 41 — 60.
4. Карманов В. Г. Использование микротерморезисторной техники для получения информации о среде и жизнедеятельности растений. — Труды Агрофизического ин-та, 1969, вып. 24, с. 5 — 10.
5. Мухаметжанов М. В., Закиров А. Г. Температура и развитие хлопчатника. — М.: Колос, 1968. — 120 с.
6. Осипова Н. И. Оценка влияния погоды на темпы развития новых районированных сортов хлопчатника Ташкент-1, Ташкент-2, Ташкент-3. — Труды САРНИГМИ, 1976, вып. 28(109), с. 24 — 28.

7. Побережский Л. Н. Водный баланс зоны аэрации в условиях орошения. — Л.: Гидрометеониздат. 1977. — 157 с.
8. Усманов В. О. Водопотребление хлопчатником при различных способах орошения в условиях Голодной степи. — Труды САРНИГМИ, 1977, вып. 52(133), с. 42—46.
9. Усманов В. О., Хасанов О. З. К характеристике репрезентативности наблюдений при воднобалансовых исследованиях на орошаемых полях хлопчатника. — Труды САННИ Госкомгидромета, 1980, вып. 74(155), с. 11—18.
10. Усманов В. О. К расчету транспирации и суммарного испарения с хлопчатника. — Труды САННИ Госкомгидромета, 1980, вып. 74(155), с. 19—26.
11. Усманов В. О. Расход грунтовых вод на суммарное испарение с хлопчатника. — Труды САННИ Госкомгидромета, 1980, вып. 74(155), с. 27—31.
12. Харченко С. И. Гидрология орошаемых земель. — Л.: Гидрометеониздат, 1975. — 374 с.

В. О. УСМАНОВ, Л. И. КОНДАКОВ

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНО-СОЛЕВОГО РЕЖИМА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ В ПРЕДЕЛАХ КОНТУРА ГОЛОДНОСТЕПСКОЙ ВОДНОБАЛАНСОВОЙ СТАНЦИИ

Голодностепская воднобалансовая станция (ГВБС) организована на землях Ильичевского района Сырдарьинской области УзССР с подкомандной территорией 45 тыс. га. Научные основы организации и эксплуатации воднобалансовых станций на мелиоративных землях разработаны ГГИ [1, 6].

Начиная с 1983 г. на ГВБС проводятся воднобалансовые исследования: учитывается количество и качество поступающих на орошение и отводимых коллекторно-дренажных вод, изучается режим грунтовых вод и влагозапасов почвы, формирование биомассы, ведется учет урожайности сельхозкультур. На экспериментальном поле с посевами хлопчатника в совхозе № 6 дополнительно к указанным видам работ проводятся теплобалансовые наблюдения.

Основные почвообразующие породы земель в контуре ГВБС — лессовидные пылеватые суглинки с небольшим содержанием гумуса; 30% земель засолены, загипсованы и требуют проведения капитальных работ по улучшению мелиоративного состояния. Основным источником орошения является Южный Голодностепский канал, протяженность которого в пределах контура ГВБС составляет 30 км.

Общая протяженность межколхозных каналов и внутрихозяйственной сети в контуре равна 464 км, из которых 82% приходится на лотковую сеть; протяженность коллекторно-дренажной сети достигает 1700 км; обеспечено дренажем 96% орошаемой площади — нетто.

В почвенно-мелиоративном отношении территория в контуре подразделяется на две зоны: с устойчивым неглубоким залега-

нием уровня грунтовых вод (УГВ) и с глубоким УГВ; выделено [3] 8 гидромодульных района. В соответствии с этим районированием предусматривается [3] для хлопковых полей проведение 2—7 вегетационных поливов с оросительными нормами-нетто 2600—7000 м³/га, для посевов люцерны 5—10 поливов с нормами 6000—11000 м³/га.

По данным наших наблюдений [4, 5], в совхозе № 6 и других совхозах в контуре ВБС на посевах хлопчатника фактическая оросительная норма в зависимости от техники орошения может изменяться в пределах 4850—7900 м³/га при 2—3 вегетационных поливах. Продолжительность полива участка составляет не менее 35—50 дней: средняя интенсивность водоподачи на поля колеблется от 8,8 до 30,3 мм/сут при поливных нормах 2300—3860 м³/га.

Эмпирически установлено, что для среднесуглинистых полугидроморфных почв, наиболее характерных для посевов хлопчатника в контуре ГВБС, поливная норма для полей со средним уклоном должна быть не менее 2600—2800 м³/га, что обеспечивает увлажнение всей площади поля; при меньших нормах, как правило, происходит частичный ее полив. Пределы изменчивости этой нормы определяются предполивными влагозапасами почвы и качеством ее подготовки к проведению поливов: чем они ниже, тем больше величина поливной нормы.

Сведения о среднегодовой водоподаче в контур ГВБС и водоотведении за его пределы приводятся в табл. 1 (за 1982—1983 гг. использованы материалы ММнВХ УзССР).

В балансируемый контур в среднем за год подается 12,2—15,0 млн. м³/га, а отводится по коллекторно-дренажной сети 25—40% водоподачи, т. е. 3500—4700 м³/га или в дренажном модуле 0,10—0,15 л/с га. Максимум водоподачи на орошение и водоотведение по КДС (коллекторно-дренажной сети) приходится на ко-

Таблица 1

Поступление воды и солей в контур Голодностепской ВБС и отведение их за его пределы

Год	Приходная часть		Расходная часть		Баланс водорастворимых солей, тыс. т
	водозабор, млн. м ³	поступление солей с водой, тыс. т	отведение коллекторных вод, млн. м ³	отведение солей, тыс. т	
1982	366,2	210,1	92,9	726,4	516,3
1983	336,5	239,4	69,8	558,6	319,2
1984	379,4*	211,6	104,8	525,5	313,9
1985	384,3*	139,2	139,2	623,0	388,7

* Без водозабора за январь.

нец июля — начало августа. В соответствии с различной водообеспеченностью посевов, разной степенью засоления почв и качества агротехнических мероприятий, значительны вариации урожайности хлопчатника в пределах контура — от 1,45 до 3,6 т/га; средний урожай по району равен 1,7—2,0 т/га, что составляет порядка 80% средней урожайности по области.

Существенное значение в перераспределении водных ресурсов внутри контура имеют повторное использование на орошение воды, забираемой из КДС, прямые сбросы поливной воды в открытую коллекторную сеть, потери на линейную фильтрацию и утечки из оросительной сети, потери на площадную фильтрацию и непродуктивное испарение в районах, не оборудованных концевыми сбросами.

Прямой гидрометрический учет и расчеты сбросов воды из оросительной сети в КДС показал, что величина этого сброса в вегетационный период составляет 5—15% коллекторного стока; учтенное повторное использование коллекторно-дренажных вод (при их разбавлении оросительной водой) составляет в среднем до 30% коллекторного стока; потери (на фильтрацию, течь из стыков лотков, переливов через борта) их составляет 1,0—2,5% водозабора. Потери на испарение с затопленных участков полей, не оборудованных концевыми сбросами, составляют, по материалам гидромелиоративного обследования 1984—1985 гг., до 15% оросительной нормы.

Расчет (табл. 2) доли сбросных вод в общем стоке по КДС выполнен на основе известного гидрохимического способа [2], причем принято, что максимальные значения минерализации в течение года соответствуют минерализации грунтовых вод, отводимых КДС.

Таблица 2

Объемы оросительной воды, сбрасываемой в коллекторно-дренажную сеть в контуре Голодностепской ВБС, 1985 г.

Месяц	Декада	Объем воды, млн. м ³		Отток по КДС без сбросных вод, млн. м ³	Сброс оросительных вод в КДС, млн. м ³	Доля (%) сбросных вод в стоке по КДС (α)
		водоподдачи	оттока			
Июнь	1-я	18,5	4,44	2,61	1,83	9,9
	2-я	21,7	4,90	2,69	2,21	10,2
Июль	1-я	26,2	4,70	3,35	1,35	5,1
	2-я	27,7	5,85	3,03	2,80	10,1
	3-я	32,6	7,75	2,93	4,82	14,8
Август	1-я	27,0	5,88	3,21	2,67	9,8
	2-я	24,1	5,42	2,50	2,92	12,1

Доля α сбросных вод в общем стоке рассчитана для декад вегетационного периода по зависимости

$$\alpha = \frac{M_k - M_o}{M_r - M_o}, \quad (1)$$

где M_k , M_o , M_r — минерализация соответственно коллекторной, оросительной и грунтовой воды, полученная прямыми измерениями.

В среднем за июнь—август 1985 г. доля сбросных оросительных вод в стоке КДС составила 10,4%, т. е. оросительная вода, поступившая в контур за одну декаду, пошла на сброс в КДС. Минерализация грунтовых вод по контуру колеблется в пределах 1,25—17,6 г/л; на большей части территории она не превышает 3,0—9,4 г/л. Среднегодовой уровень грунтовых вод составляет 2,7—2,9 м.

Минерализация коллекторно-дренажных вод достигает 12 г/л в октябре—декабре, снижаясь до 2—3 г/л в вегетационный период. Минерализация оросительной воды, поступающей в контур, соответственно изменяется от 1,20 г/л до 0,69 г/л в июле—августе. При использовании коллекторных вод на орошение обычно их разбавляют оросительными водами до концентрации 1,0—1,5 г/л.

В зависимости от водообеспеченности посевов и развития биомассы суммарное испарение с посевов хлопчатника за вегетационный период изменяется в контуре в пределах 540—814 мм. Для оценки оптимального водопотребления хлопчатника для условий ГВБС выполнены расчеты суммарного испарения по зависимостям вида:

$$E_c = E_o \left\{ \beta \frac{W_i}{W_{н.в}} + [(\beta_{\max} - \beta_o) (1 - \exp(-c - \omega))] \frac{W_i^*}{W_{н.в}} \right\}, \quad (2)$$

$$E_c = K_p \bar{i} f(W_i^*) \omega n T_c + K_n E_o \exp(-c - \omega) \frac{W_i}{W_{н.в}}, \quad (3)$$

где K_p , K_n — эмпирические коэффициенты, характеризующие испарение с растительности и почвы; β_o и $\beta_{\max}$ — значения биологического параметра соответственно для периода посева и при сомкнутом растительном покрове в условиях оптимальной водообеспеченности; W_i^* , W_i , $W_{н.в}$ — влагозапасы почвы соответственно корнеобитаемого слоя, почвы междурядий, при наименьшей влагоемкости; $\bar{i}$ — средняя интенсивность транспирации посевов; ω — листовой индекс, т. е. площадь листьев, приходящаяся на единицу площади посевов; n — количество суток расчетного периода; T_c — продолжительность солнечного сияния; c — коэффициент, учитывающий действующую (испаряющую) часть листовой поверхности; E_o — испаряемость, рассчитываемая по методу М. М. Будыко и Л. И. Зубенок [6].

По данным расчетов оптимального водопотребления и 12-летнему ряду наблюдений за испарением на посевах хлопчатника в

совхозах № 6 и 1 составлена таблица (табл. 3) испарения с хлопчатника.

В табл. 3 испарение дано при уровне урожайности хлопчатника не ниже 2,0 т/га. При низкой урожайности в условиях нарушения агротехники возделывания суммарное испарение за вегетационный период может отличаться от данных табл. 3 и составить 450—600 мм.

В условиях применения совершенной техники орошения и возделывания хлопчатника возможно сокращение непроизводительных потерь воды на физическое испарение, затопленных участков полей и т. п. В предельном случае при использовании оросительной воды только на продуктивное водопотребление экономия воды составляет до 40% норм водоподачи.

Средневзвешенное суммарное испарение в пределах контура ВБС рассчитано с учетом площадей, занятых различными культурами; 60% пахотных земель — посевами хлопчатника, 20% — люцерной, 10% — другими, в основном зерновыми, культурами. Переходные коэффициенты от испарения с хлопчатника к испарению с люцерны приняты равными 1,31, для перелогов — 0,50, кукурузы на зерно — 1,05 [5].

Испарение с хлопчатника для всего массива определено с учетом распределения биомассы, для чего использованы материалы биометрических измерений, результаты аэровизуальных и аэрофотометрических обследований. Весовые коэффициенты для расчета испарения приняты пропорциональными биомассе хлопчатника. Так, в 1985 г. эти коэффициенты для совхозов № 1, 1а, 3, 4а, 4, 5, 6, 7 в пределах контура ВБС соответственно равны 0,75; 0,96; 1,04; 0,72; 0,67; 0,87; 0,80; 1,05.

Рассчитанные за 1982—1985 гг. значения испарения с хлопчатника за вегетацию (май—октябрь) составили 780—810 мм, за год — 990—1005 мм; испарение с комплексного гектара составило соответственно 800—830 мм и 1010 мм.

Учитывая приближенный характер полученных результатов, расчеты водного баланса проведены для среднегодовых значений элементов, осредненных за 1982—1985 гг. Изменения запасов воды на аккумуляцию в зоне аэрации и в грунтовых водах соизмеримы с ошибками расчетов, поэтому они исключены из баланса.

Таким образом, приходную часть баланса составляют: осадки — 301 мм, поступление воды в контур из источников ороше-

Таблица 3

Суммарное испарение за вегетацию (май—октябрь) в современных условиях (E_1) и при оптимальной водообеспеченности (E_2)

Условия	Обеспеченность испарения, %				
	5	25	50	75	90
E_1	804	789	782	761	743
E_2	767	747	743	719	705

ния — 1165 мм, повторное использование воды из КДС — 165 мм; итого — 1531 мм. Расходная часть водного баланса — испарение со всех видов поверхностей — 1015 мм и водоотведение по КДС за пределы контура — 549 мм; итого — 1564 мм. Невязка баланса равна 33 мм (2,1%).

Объем водозабора в контур в целом соответствует проектным расчетам, а дефицит оросительной воды и необходимость повторного использования стока коллекторных вод обусловлены плохой хозяйственной деятельностью, отсутствием надежной и оперативной информации о распределении водных ресурсов по территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Емец В. П. Научные аспекты организации и эксплуатации экспериментальных воднобалансовых станций на мелиорируемых землях. — Труды ГГИ, 1985, вып. 298, с. 92 — 104.
2. Енгулатов И. А. Дренажный сток и методы его определения. — Вопросы гидротехники, 1965, вып. 29, с. 18 — 24.
3. Режимы орошения и гидромодульное районирование по Узбекской ССР. — Ташкент: Узбекистан, 1971. — 368 с.
4. Усманов В. О. К расчету суммарного испарения с люцерны. — Труды Средазгипроводхлопка, 1975, вып. 6, с. 89 — 99.
5. Усманов В. О. Водопотребление хлопчатником при различных способах орошения в условиях Голодной степи. — Труды САРНИГМИ, 1977, вып. 52(133), с. 42 — 46.
6. Харченко С. И. Гидрология орошаемых земель. — Л., Гидрометеониздат, 1975. — 373 с.

Ю. Н. ИВАНОВ

УТОЧНЕНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ КРИВЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ

В работах [1, 2] отмечено, что в основу методики расчета параметров кривых расходов воды (КРВ) нами положено уравнение Н. Г. Глушкова

$$Q = a(H - H_0)^b \quad (1)$$

как наиболее точно отражающее физическую сущность зависимости между уровнями и расходами воды.

Методика расчета параметров уравнения изложена в [1, 2]. В них было принято, что параметры уравнения (1) постоянны. Однако дальнейшие исследования показали, что параметры a и b могут быть переменными и в свою очередь могут зависеть от уровней воды. Обычно с ростом уровня значения параметра b (показателя степени) растет, а параметра a несколько уменьшается. Однако эта зависимость отличается недостаточной точностью, а выявить иные факторы, влияющие на значения параметров, затруднительно. Одной из причин этих трудностей яв-

ляется отсутствие измерений уклонов водной поверхности практически на всех гидрологических постах.

Там же, где подобные измерения имеются, они страдают двумя существенными недостатками. Во-первых, измерения уклонов выполняются не при всех измерениях расходов воды. Во-вторых, что более серьезно, точность измерений уклонов настолько низка, что делать какие-либо выводы на их основе крайне рискованно.

Построение графиков зависимости гидравлических элементов от уровня воды выявило, что кривая расходов воды, рассчитанная по уравнению (1), плохо отражает действительную зависимость $Q=f(H)$ в тех случаях, когда связь параметра μ с высотой уровня воды

$$\mu = \frac{V_{\text{ср}}}{V_{h_{\text{ср}}}} = f(H), \quad (2)$$

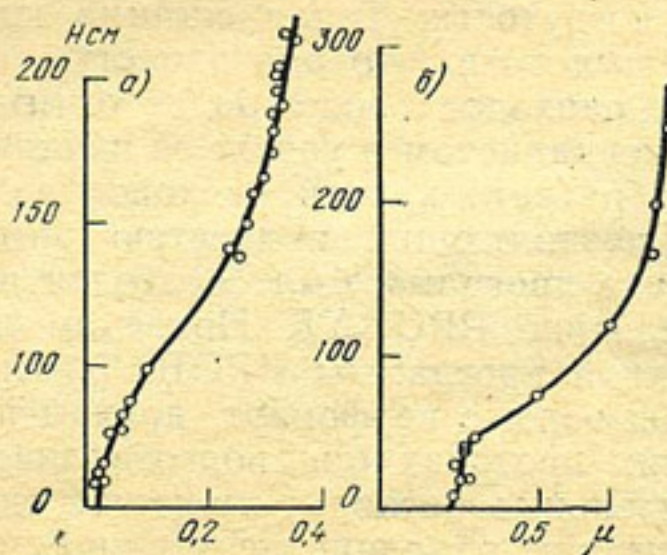
предложенная Р. М. Шестаковой [3], нелинейна. Характерной особенностью нелинейной зависимости параметра μ от уровня оказалась ее независимость от наличия или отсутствия поймы.

Примеры нелинейной зависимости параметра μ от уровня рек на северо-западе ЕТ СССР приведены на рисунке, из которого видно, что зависимости $\mu=f(H)$ явно нелинейны, хотя в обоих случаях вода в этом году на пойму не выходила.

По этой причине для лучшего отображения поля точек в осях координат Q и H кривой (1) в это уравнение вводится эмпирическая поправка ΔQ и уравнение (1) приобретает вид

$$Q = a(H - H_0)^b \pm \Delta Q. \quad (3)$$

Введение поправок осуществляется следующим образом. Вычисляются отклонения точек измеренных расходов воды от кривой (1). Отклонения ΔQ_i расходов, измеренных при одинаковых уровнях, суммируются и из них вычисляются средние отклонения ΔQ . Все уровни при измеренных расходах с соответствующими им отклонениями ΔQ и вычисленными расходами Q_v располагаются в возрастающем порядке. Далее, по методу прямых начиная с



Зависимость параметра μ от уровня воды для пунктов р. Сясь — д. Яхново (а) и р. Шалица — д. Никитинская (б) за 1959 г.

первого вычисленного расхода определяются новые вычисленные расходы Q'_{vi+1}

$$\frac{Q'_{vi+1} - Q_{vi}}{Q_{vi+2} - Q_{vi}} = \frac{H_{i+1} - H_i}{H_{i+2} - H_i} \quad (4)$$

для всех вычисленных расходов.

При этом расходы воды, вычисленные при одинаковых уровнях, осредняются. Из вычисленных Q_{vi} и Q'_{vi} расходов воды вычисляются средние расходы $\bar{Q}_{vi}$ и поправки к вычисленным расходам ΔQ_{i1} .

$$\Delta \bar{Q}_{i1} = \bar{Q}_{vi} - Q_{vi} \quad (5)$$

Координаты новой КРВ вычисляются путем введения поправок к расходам, определенным по уравнению (1) как

$$Q_j = a(H - H_0)^b + \Delta Q_{j1}, \quad (6)$$

где

$$\Delta Q_{j1} = \frac{H_j - H_i}{H_{i+1} - H_i} \Delta \bar{Q}_{i+1} - \Delta \bar{Q}_i + \Delta Q_{vi} \quad (7)$$

Здесь ΔQ_{j1} — поправка к расходу Q_j , вычисленному при любом уровне; H_i и H_{i+1} — уровни, соответствующие измеренным расходам, по которым строится кривая расходов, причем H_i — уровень, ближайший к H_j снизу; H_{i+1} — то же сверху; ΔQ_{i+1} и ΔQ_i — поправки к вычисленным расходам. Смысл значков i и $i+1$ тот же, что и для уровней воды.

Так как кривая расходов воды в этом случае может стать неплавной, то выполняется проверка условий ее плавности и вогнутости по уравнениям [1]:

$$\frac{dQ}{dH} > 0 \quad \text{и} \quad \frac{d^2Q}{dH^2} \geq 0. \quad (8)$$

В случае нарушения условий процесс повторяется с использованием Q_i и $\bar{Q}_v$, затем с использованием Q_i и $\bar{Q}_{vi2}$ и так далее до тех пор, пока кривая не будет отвечать условиям (8) плавности и вогнутости. Такая система корректировки КРВ позволяет добиваться того, что она зачастую проходит в поле точек измеренных расходов воды более оптимально, чем при проведении КРВ специалистом и увязке ее вручную.

Для расчета кривой расходов воды составлен комплекс программ, позволяющий полностью автоматизировать этот процесс. Комплекс программ был составлен на языке ФОРТРАН-IV и носит название PROBA 5. Приведем краткое описание функций и возможной программы PROBA 5. Программа вводит измеренные расходы воды с перфокарт, причем при измерении расходов в нескольких протоках они подготавливаются к перфорации как самостоятельные расходы, имеющие один номер, а программа сама выполняет их объединение в один суммарный расход.

Одновременно модулем STOC 201 выполняется проверка на действительность измеренных в расходе величин, таких как величина расхода, которая не должна превышать 999999,0, и ряде других. В случае обнаружения грубых ошибок формируется таблица расходов, содержащих эти ошибки (модуль STOC 202) и происходит их печать (модуль STOC 203). При обнаружении ошибок программа снимает с обработки расходы данного поста и выдает на АЦПУ сообщение: «Пост № и название» снят с обработки из-за ошибок данных в расходах №№» (приводится список забракованных расходов).

При обнаружении проток модуль STOC 204 формирует суммарные расходы воды при наличии проток. Далее модуль STOC 217 выполняет выделение расходов воды при свободном русле, по которым модуль STOC 205 вычисляет параметры уравнения (1).

Последующие модули программы выполняют уточнение кривой расходов по приведенному алгоритму и выдают на печать таблицу оценок кривой расходов воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов Ю. Н. О выборе уравнения для аппроксимации кривой расходов воды. — Труды САРНИГМИ, 1977, вып. 52(133), с. 77 — 94.
2. Иванов Ю. Н. Сравнение некоторых методов построения кривых расходов воды. — Труды САННИ Госкомгидромета, 1980, вып. 77(155), с. 78 — 87.
3. Шестакова Р. А. Выбор участка для измерения уклона водной поверхности в беспойменных створах. — Труды ГГИ, 1968, вып. 164, с. 128—143.

С. ГЕРАСИМОВ

ОПТИМАЛЬНЫЙ ВЫБОР АППРОКСИМАЦИЙ ЭМПИРИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗА СИСТЕМ

В работе автора [2] предложен объективный метод аппроксимации эмпирических распределений путем трансформирования координат методом регрессионного анализа. При этом получается большой набор вариантов аппроксимаций следующих моделей: логнормальное распределение с коррекцией y_0 квантилей $\ln(y - y_0) = ax + b$ ($y_0 = 0$ и $y_0 \neq 0$), степенная функция $\ln y = ax^b + c$, где a, b, c — дробные числа, определяемые на основе регрессии; x — трансформированная эмпирическая обеспеченность неперевышения ($y < y_p$) случайной величины y с помощью обратной функции нормального распределения.

В основу оптимизационных вычислений моделей положено определение с помощью программы APED [5] полиноминой регрессии

$\ln y = \sum_{i=0}^m a_i x_i$ начиная с показателя степени $m=1$ и кончая заданной на входе программы m (от 3 до 10). Все оценки получаются методом наименьших квадратов, а их помехоустойчивость в большой степени обеспечена применением логарифмической анаморфозы случайной величины $\ln y$. Специальные помехоустойчивые процедуры оценок, рекомендуемые квалифицированными математиками (M — оценки, L — оценки, R — оценки и пр.), систематизированные, например, в статье Р. В. Хогга «Введение в помехоустойчивое оценивание» [3], не используются здесь из-за их сложности и требования итерационного решения оптимизации. Кроме того, обычная недостаточность объема гидрометеорологической информации не дает возможности устойчивой статистической оценки на основе только отдельных рядов наблюдений.

В [2] показана возможность выбора наиболее подходящего варианта, удовлетворяющего требованиям точности аппроксимации, возможности экстраполяции, согласованности с другими распределениями аналогичных объектов, гарантии и страховки расчетов.

Цель настоящей работы — получить более устойчивые оценки каждого статистического распределения, удовлетворяющие этим требованиям.

Учитывая специфическую особенность гидрометеорологической информации — нехватку данных для определения устойчивых оценок распределений весьма изменчивых случайных гидрометеорологических величин, — приходится привлекать к статистическому анализу дополнительную информацию из других наблюдений. Выявление районных эмпирических зависимостей и распределений служит этой цели, как указано в [1], однако использованные до сих пор подходы не позволяли влиять на оценки отдельных распределений. Последние уточнялись самостоятельно со всеми присущими случайными ошибками из-за ограниченности длин рядов наблюдений (и недостаточности измерений), затем определялись районные зависимости на этапе обобщения.

Очевидным является преимущество возможно большего уточнения оценок отдельных распределений для дальнейшего анализа и обобщений. Предложенный ранее совместный статистический анализ множества вариантов распределений экстремального стока с различными продолжительностями указывает в общем путь решения задачи. Здесь предлагается формализованный метод оптимального выбора вариантов аппроксимаций отдельных распределений, основанный на применении многокритериальной оптимизации систем [4]. При системном подходе необходимо прежде всего определить систему, классифицировать и проанализировать критерии оценки системы.

В нашем случае система представляется множеством эмпирических распределений временных или пространственных разрезов данного гидрометеорологического процесса. Временными разрезами можно считать характеристики случайной гидрометеорологи-

ческой величины за определенный интервал времени, например, средние экстремальные расходы воды за различные периоды, средние значения за календарные сроки (месячные, сезонные, годовые и т. д.). Пространственными разрезами выявляются распределения определенного временного хода элементов по пунктам наблюдений данной территории.

Критерии, оптимизирующие систему эмпирических распределений, можно сформулировать следующим самым общим образом: оптимальность аппроксимации каждого отдельного объектового (временного или пространственного) распределения, максимальное подобие между эмпирическими распределениями средних временных или пространственных разрезов, максимальная гарантийность и страховка расчетных характеристик распределений.

При этом считаем, что все варианты модели адекватны физической сущности гидрометеорологических процессов, описанных соответствующими распределениями, и что все экстраполяционные значения физически возможны. Соответствие моделей эмпирическим распределениям, характеризующимся одномодальностью и асимметричностью, показана в [2]. Требование, чтобы экстраполяционные участки распределений и их маловероятностные процентиля были физически возможными, соблюдается введением ограничительных условий при предварительном подборе вариантов, произведенном в окрестностях оптимума отдельной аппроксимации.

Каждый из перечисленных трех критериев имеет специфическое численное выражение.

Оптимальность аппроксимации (критерий 1) определяется минимизацией остаточных разностей аппроксимации. В качестве меры остаточных разностей (разброса) можно использовать стандартное (среднеквадратическое) отклонение аппроксимируемого $\tilde{y}_i$ от наблюдаемого y_i за период N :

$$\sigma_{\Delta y} = \sqrt{\sum_1^N (\tilde{y}_i - y_i)^2 / (N - 1)} \quad (1)$$

или, как рекомендуется в помехоустойчивых методах оценок [4], медиану абсолютных отклонений

$$S = \text{med } |\tilde{y}_i - y_i|. \quad (2)$$

Максимальное подобие эмпирических распределений в системе (критерий 2) равнозначно минимальному развитию между сходными распределениями. Его можно выразить тем же образом с помощью среднеквадратического отклонения заранее приведенных к однородности процентилей сравниваемых объектовых распределений. Учитывая монотонность аппроксимирующих кривых, автор считает целесообразным и достаточным, с точки зрения чувствительности, использование только отдельных процентилей на концах экстраполяционных участков, выбираемых объектово-функционально: для максимальных величин (расходов воды, осад-

ков и т. п.) — максимальный определяемый в программе процентиль при $p=99,99\%$, для минимальных, месячных, годовых и прочих величин — минимальный, применяемый в практике процентиль при $p=1\%$. Чтобы сделать процентиля y_p отдельных объектовых распределений однородными и сопоставимыми и в то же время учесть специфику каждого объектового распределения, можно использовать нормированные отклонения ψ_i . В качестве численной меры подобия рекомендуется минимизация абсолютной разницы для попарно сравниваемых объектов (i, k):

$$\Delta\psi = |\psi_i - \psi_k|, \quad (3)$$

где

$$\psi = |y_p - \bar{y}| / \sigma_y, \quad (4)$$

$\bar{y}$ — среднее аппроксимирующего варианта, σ_y — среднеквадратическое его отклонение.

Для каждого двух сравниваемых объектов необходимо вычислить все возможные сочетания $\Delta\psi$ данного i -го варианта одного объекта (i) со всеми остальными ($l=1 \div n$) вариантами второго объекта (k), выбрать минимум

$$\min \Delta\psi_{i,j} = \min |\psi_{i,j} - \psi_{k,l}| \quad (5)$$

и назначить последний в качестве численной меры второго критерия для j -го варианта i -го объектового распределения.

Максимальная гарантийность расчетных характеристик распределений используется проектировщиками строительных сооружений регламентированно или интуитивно как естественное стремление к страховке от возможных больших ошибок расчетов. Например, при расчетах водоотводящих сооружений высокого класса по предписаниям строительных норм и указаний вводится гарантийная поправка к расчетным процентилям, если длина гидрологических рядов максимальных расходов небольшая и не дает возможности достигнуть достаточной точности.

При испытаниях моделей теоретических кривых распределений, как правило, дается предпочтение тем, которые дают большие значения расчетных процентиля. При проектировании сооружений, зависящих от минимальных, годовых сезонных и прочих расходов воды (водозабор, водохранилище и т. п.), гидрологи интуитивно стремятся к моделям и вариантам распределений с меньшими значениями низких расчетных процентиля. Стремление к страховке является результатом неуверенности в расчетах и полученных оценках эмпирических распределений из-за недостатка и ошибок гидрометеорологической информации разного рода и прежде всего из-за ограниченных длин рядов наблюдений.

С помощью гарантии и страховки специалист стремится исправить возможные большие ошибки распределений и улучшить оценки. С этой точки зрения гарантия как третий критерий оптимальности служит определению устойчивых оценок аппроксимаций распределений так же, как и первые два критерия. Таким

образом, в качестве численного выражения третьего критерия можно рекомендовать максимизирование абсолютного отклонения выбранного процентиля $\tilde{y}_p$ от среднего $\bar{y}$:

$$\max \Delta y_p = \max |\tilde{y}_p - \bar{y}|, \quad (6)$$

где для максимальных величин принимается значение $\tilde{y}_p$ при $p=99,99\%$, а для минимальных, годовых, сезонных и прочих величин — при $p=1\%$.

Чтобы получить сборную оценку трех различающихся критериальных оценок, необходимо привести их к однородным сопоставимым выражениям. Оценки можно систематизировать в две основные группы: выравненные и относительные, а также добавить третью обобщенную оценку — выравненно-относительную.

Выравненные критериальные оценки

Предельные значения всех критериальных оценок одинаковые, т. е. для всех критериев оценки являются выравненными.

Например, при ранговых оценках все варианты ранжируются по значению численной меры соответствующего критерия в нисходящем порядке для первого и второго критерия и в восходящем — для третьего, используя соответствующий ранговый номер как оценку. Разновидностью ранговой оценки является детализированная ранговая оценка, в которой экстремумы численной меры получают оценки, соответствующие их ранговым номерам, а все остальные оценки пропорциональны значениям численной меры и выражаются в долях единицы.

Аналогично ранговой оценке применяется балльная оценка, которую тоже можно выразить в единицах или долях единицы. Так, например, если принята пятибалльная система оценок, по первым двум критериям вариант с наименьшим отклонением $x_{\min}$ ($\min \sigma_{\Delta y}$ или $\min \Delta \psi$) получает высшую оценку $\alpha = \alpha_{\max} = 5$, вариант с наибольшим отклонением $x_{\max}$ получает самую низкую оценку $\alpha = \alpha_{\min} = 1$. Тогда оценка i -го варианта с численной мерой x_i критериев (1, 2) определяется выражением:

$$\alpha_i^{(1,2)} = 1 + \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}} \cdot 4. \quad (7)$$

Аналогичная оценка будет по третьему критерию —

$$\alpha_i^{(3)} = 1 + \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \cdot 4. \quad (8)$$

Самый простой способ выражения выравненных критериальных оценок — отношение разницы отклонений к их амплитуде:

для 1-го и 2-го критериев —

$$\beta_i^{(1,2)} = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad (9)$$

для 3-го критерия —

$$\beta_i^{(3)} = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}. \quad (10)$$

Оценки β изменяются в пределах от 0 до 1.

Другую разновидность выравненных критериальных оценок можно получить на основе нормированных отклонений. Для упрощения и однообразности основы оценок используем среднее экстремумов

$$x_m = \frac{1}{2} (x_{\min} + x_{\max}) \quad (11)$$

и среднюю амплитуду, относящуюся к одному варианту из всех сравниваемых величин,

$$S_m = (x_{\max} - x_{\min})/n. \quad (12)$$

Тогда выравненные по нормированным отклонениям оценки будут:

по двум первым критериям —

$$\varphi_i^{(1,2)} = \frac{x_m - x_i}{S_m}, \quad (13)$$

по третьему критерию —

$$\varphi_i^{(3)} = \frac{x_i - x_m}{S_m}. \quad (14)$$

Предельные значения критериальных оценок (13) и (14), тоже выравненные по всем критериям: $\varphi_{\min} = -n/2$ и $\varphi_{\max} = n/2$.

Просматривая указанные выше выравненные оценки, очевидно, наиболее целесообразным можно считать самые простые выражения (9) и (10). Именно ими мы пользуемся в дальнейших расчетах.

Относительные (модульные) критериальные оценки

Для каждого критерия только средние (или медианные) значения оценок одинаковые. Их самые общие выражения можно записать следующим образом:

для первых двух критериев —

$$\mu^{(1,2)} = \frac{x_m - x_i}{x_m}, \quad (15)$$

для третьего критерия —

$$\mu^{(3)} = \frac{x_i - x_m}{x_m}, \quad (16)$$

где x_m можно вычислить не только по формуле (11), но и как среднее из всех сравниваемых вариантов или как медиану. Мы используем для простоты и единообразия формулу (11).

Относительные оценки μ в общем изменяются от -1 до 1 , но достигают предельных значений только в частном случае, когда $x_{\min} = 0$.

Анализируя обе группы критериальных оценок, надо отметить, что первая группа (выравненных) оценок имеет то преимущество, что ставит все критерии на одинаковую основу сравнения — поля изменений всех критериальных оценок одинаковы. Поэтому она лучшим образом выполняет задачу об однородности и сопоставимости всех критериев. Это дает нам полное основание определить обобщенную оценку как сумму или среднее из всех отдельных критериальных оценок

$$\beta_i^{(0)} = \frac{1}{3} (\beta_i^{(1)} + \beta_i^{(2)} + \beta_i^{(3)}) \quad (17)$$

и выбрать оптимальные варианты по максимальному значению этой величины —

$$\text{opt } \beta_i = \max \beta_i^{(0)}. \quad (18)$$

Полное выравнивание полей изменений всех критериальных оценок в некоторых особых случаях является недостатком, который не дает возможности определить (по меньшей мере правильно) оптимальный вариант. Так, например, при малых изменениях численной базы первого критерия и при сравнительно больших изменениях остальных численных мер нельзя считать, что поле изменений первого критерия должно иметь одинаковый вес в процедуре оптимизации. При полном выравнивании полей изменений всех критериальных оценок создаются большие возможности получения дублирующихся суммарных оценок (17). Именно в этих особых случаях относительные оценки позволяют определить оптимальный вариант из значений суммарной оценки

$$\mu_i^{(0)} = \frac{1}{3} (\mu_i^{(1)} + \mu_i^{(2)} + \mu_i^{(3)}), \quad (19)$$

выбирая максимальное значение

$$\text{opt } \mu_i = \max \mu_i^{(0)}. \quad (20)$$

Чтобы использовать положительные качества обеих групп критериальных оценок на заключительном этапе суммирования, предлагается определять нижеприведенную обобщенную оценку.

Обобщенная выравненно-относительная критериальная оценка

Эту оценку определяем как сумму из приведенных к сопоставляемым однородным значениям оценок (17) и (19). С этой целью приводим суммарные выравненные оценки $\beta^{(0)}$ к относительным с помощью выражения

$$\gamma^{(0)} = \frac{\beta^{(0)}}{\beta_m^0} - 1, \quad (21)$$

$$B_{(0)}'' = \frac{1}{2} (B_{(0)}^{\min} + B_{(0)}^{\max}). \quad (22)$$

Тогда имеем право определить суммарную выраженно-относительную критерияльную оценку согласно определению

$$\omega = \gamma^{(0)} + \mu^{(0)} \quad (23)$$

и выбирать optimum, максимизируя ω ,

$$\text{opt } \omega = \max \omega. \quad (24)$$

В подготовленной автором программе для ЭВМ (OPSY) выданы на печать результаты суммарных выраженных оценок по (17), суммарных относительных по (19) и обобщенных выраженных-относительных по (23). В практике рекомендуется использовать прежде всего суммарные выраженные оценки и в дополнение оценок при различии optimum по относительной и выраженной оценкам — использовать для окончательного решения выраженно-относительные.

Так, изложенный метод выбора оптимального распределения основан на предположении об одинаковом весе всех критерияльных оценок. Их детализированный учет требует введения весовых коэффициентов отдельных критериев. Это в анализах систем обычно получают путем исследования приоритетов каждого критерия по отношению ко всем остальным и построения так называемого треугольника Фулера [4].

В нашем случае можно поступить следующим образом. Расматривая первый и второй критерии, можно сказать с большим основанием, что они имеют одинаковый вес. Действительно, гидрометеорологический процесс един в пространстве и во времени. Поскольку система объектов распределения отражает это единство, минимизация ошибок внутри распределения должна иметь одинаковый вес минимизации ошибок системы распределения. Учитывая то обстоятельство, что третий критерий фактически выполняет функцию дополнения первых двух, когда недостаточный объем информации приводит к вероятным помехам, можно считать в первом приближении, что он имеет хотя бы на один приоритет меньше, чем первые два критерия.

Таким образом, треугольник Фулера получает следующий вид:

Критерий оценок	Критерий для сравнения			Суммы приоритетов		
	1	2	(3)	вариант I	вариант II	
1						3
2						3
3	(1)	1,2	1	2	2	1

Если используем сумму приоритетов в качестве весового множителя K отдельных критериев, то влияние третьего критерия равно нулю $K_3=0$ (вариант I). Это является справедливым, как уже отмечено, в случаях, когда объем и качество информации достаточно велики и высоки и нет необходимости делать страховку расчетов. Если хотим дать вес и гарантии третьему критерию, можно добавить к сумме приоритетов единицу. Это формально в треугольнике Фулера можно рассматривать как приоритет при сочетании одинаковых критериев (1,1; 2,2; 3,3), т. е. в диагональные матрицы записать номер критерия оценки (цифры в скобках). Тогда (вариант II) получаются веса $K_1=K_2=3$ и $K_3=1$. Можно еще увеличить добавку (2, 3 и т. д.) до тех пор, пока веса практически выравниваются. Автор полагает, что при анализе гидрометеорологических распределений вполне логично и целесообразно использовать одинаковые веса. Программа OPSY сделана при этом допущении.

Рассмотрим несколько примеров с применением результатов вычислений по программе OPSY. В последней число вариантов распределений по объектам ограничено пятью, исходя из возможности использованной программы APED выбрать минимум пять аппроксимирующих распределений, начиная с оптимального по первому критерию (минимальная ошибка) и исключая дублирующие по отдельным показателям критерии, а также и невозможные (имеющие слишком большие $y_{99,99\%}$ или отрицательные $y_1\%$).

Пример 1. Выбрать оптимальные аппроксимации эмпирических распределений максимальных расходов воды в бассейне р. Чая, где имеются четыре гидропоста: на главной реке Чая — два поста (по табл. 1 № 1 до впадения главного притока р. Юговска и № 4 после притока) и на главном притоке — два поста (№ 2 и 3). Периоды наблюдений у постов разные: № 1 с 1947 г., № 2 с 1955 г., № 3 с 1959 г. и № 4 с 1935 г. — до 1983 г. Для удлинения рядов максимумов нет условий — теснота коррелятивных связей невысокая. Ряды обработаны на ЭВМ по программе APED. Из результатов обработки выбрано по пять вариантов для каждого объекта, ранжированных по восходящему порядку изменений стандартных среднеквадратических отклонений остаточных разностей. Для этих вариантов в качестве входных данных в программу приняты следующие данные аппроксимирующих распределений: среднее арифметическое $\bar{Q}$, среднеквадратическое отклонение от среднего σ_Q , максимальный процентиль $Q_{99,99\%}$ и стандартное среднеквадратическое остаточных разностей $\sigma_{\Delta Q}$. В результате обработки на ЭВМ получены критериальные оценки для каждого объекта в сочетании с другими объектами. Учитывая сходство физико-географических условий для выбора оптимальных вариантов, принимаем во внимание результаты следующих сочетаний: для объекта № 1 — сочетание с № 2: 1—2, 2—3, 3—2 и 4—1. Результаты оценок для этих сочетаний приводятся в табл. 1, где максимальные оценки подчеркнуты.

Обобщенные критериальные оценки вариантов распределений максимальных расходов воды бассейна р. Чая

№ объекта	Объект	№ объекта оценки	Вариант				
			1	2	3	4	5
1 р. Чая у с. Наречен ($F=422$ км ²) по сравнению с объектом 2		1	0,813	0,900	0,209	0,158	0,0
		2	0,875	0,756	0,156	0,118	0,0
		3	0,400	0,343	—0,406	—0,460	—0,633
		4	1,400	1,070	—1,040	—1,190	—1,633
2 р. Юговска у с. Югово ($F=326$ км ²) по сравнению с объектом 3		1	0,778	0,892	0,622	0,059	0,500
		2	0,632	0,655	0,604	0,373	0,333
		3	0,025	0,253	0,156	—0,220	0,171
		4	0,303	0,579	0,383	—0,466	—0,155
3 р. Юговска у с. Лыки ($F=160$ км ²) по сравнению с объектом 2		1	0,994	0,735	0,787	0,200	0,0
		2	0,801	0,768	0,592	0,467	0,0
		3	0,347	0,237	0,238	0,018	—0,527
		4	1,347	1,154	0,715	0,183	—1,527
4 р. Чая у с. Бачково ($F=825$ км ²) по сравнению с объектом 1		1	0,500	0,560	0,605	0,643	0,453
		2	0,640	0,449	0,444	0,429	0,635
		3	0,005	—0,035	—0,022	—0,006	0,075
		4	0,203	—0,195	—0,191	—0,204	0,264

Примечание. Оценки: 1 — выравненные по 1-му и 2-му критериям, 2 — выравненные по трем критериям, 3 — относительные по трем критериям, 4 — выравненно-относительные по трем критериям.

Из табл. 1 видно, что для объекта № 1 по выравненным оценкам двух первых критериев $\left(\beta_{1,2}^{(0)} = \frac{1}{2} (\beta^{(1)} + \beta^{(2)}) \right)$ максимальную оценку получает вариант № 2 — 0,900, а минимальную — вариант № 5. Вариант № 1 на втором месте после варианта № 2. По трем критериям все остальные оценки — выравненные, относительные и выравненно-относительные — указывают на вариант № 1 как оптимальный.

Для объекта № 2 все оценки указывают на оптимальный второй вариант (0,892; 0,655; 0,255; 0,579), для объекта № 3 — на первый вариант (0,994; 0,801; 0,347; 1,347). Для объекта № 4 $\beta_{1,2}^{(0)}$ указывают на вариант 4 в качестве оптимума, $\beta_{1,2,3}^{(0)}$ — на вариант 1, а $\mu^{(0)}$ и ω — на вариант 5, который принимается как оптимум. Эти оценки в таблице выделены.

На рис. 1 даются эмпирические зависимости процентилей максимальных расходов Q_p при вероятностях превышений 0,01; 0,1; 1 и 5% для различных случаев оптимального выбора.

На рис. 1 видно, что рекомендуемый метод (случай а) дает наименьший разброс эмпирических точек. Почти с таким же разбросом оказывается случай г (по первому критерию). Введение второго критерия ухудшает зависимость, а введение третьего критерия улучшает ее. Последнее обстоятельство подтверждает высказанное предположение о сути третьего (гарантийного) критерия. Действительно, он дает большие гарантии, удаляя в то же время отдельные выбросы и повышая помехоустойчивость оценок отдельных распределений и всей системы.

Пример 2. Выбрать оптимальные аппроксимации эмпирических распределений средних месячных расходов воды р. Градевска у с. Градево за период наблюдений в 32 года. Ряды средне-месячных расходов обработаны программой APED, а потом OPSY. Наилучшие варианты по выравненным и выравненно-относительным оценкам представлены в табл. 2.

В таблице используем для выбора оптимумов исключительно диагональную зону квадратной матрицы, относящуюся к сочетаниям для соседних месяцев и только при спорных ситуациях пользуемся и остальными результатами (выбранные варианты в таблице выделены).

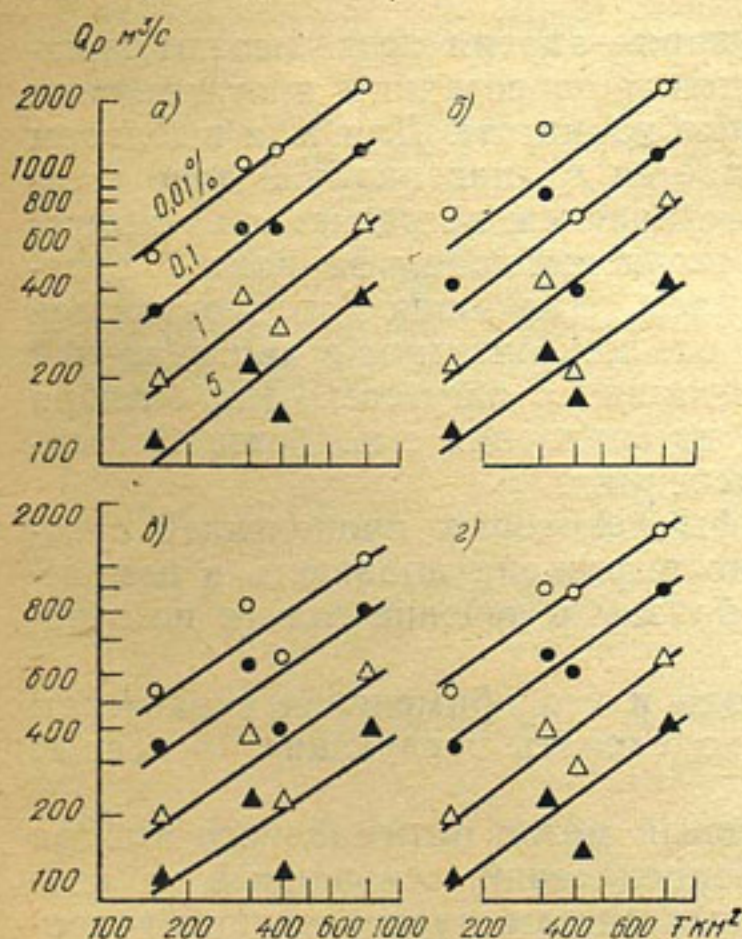


Рис. 1. Эмпирическая зависимость максимальных квантилей Q_p в бассейне р. Чая в зависимости от площади водосбора для четырех случаев оптимального выбора:

а — по трем критериям выравненно-относительных оценок, б — по классификации оценок, в — по двум критериям выравненных оценок, г — по первому критерию оценок

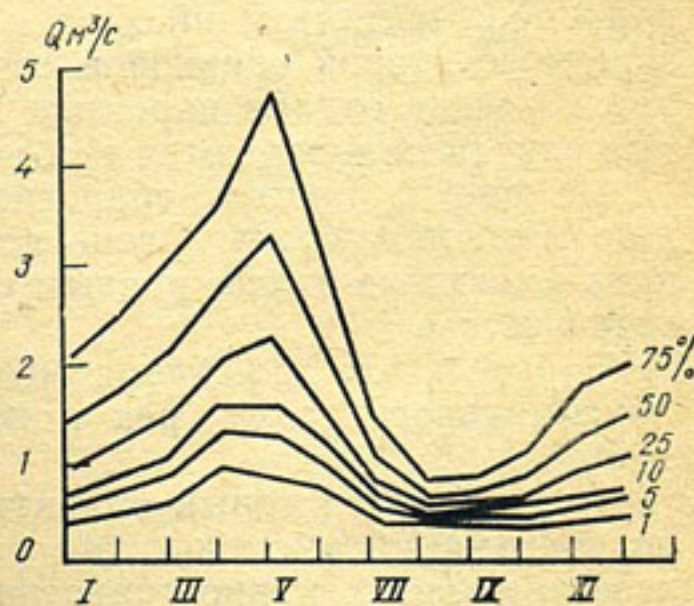


Рис. 2. Гидрограф квантилей месячного стока р. Градевска у с. Градево

Таблица 2

Оптимальные варианты распределения среднего месячного стока р. Градевска у с. Градево по трем критериям выравненных и выравненно-относительных оценок

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Выбран- ный вариант
I		4; 3	3; 3	4; 4	4; 4	4; 4	4; 4	4; 4	4; 4	1; 1	4; 4	4; 4	4
II	5; 5	5; 5	5; 5	5; 5	5; 5	5; 5	2; 2	5; 5	5; 5	5; 5	2; 2	5; 5	5
III	5; 5	5; 5		5; 5	5; 5	5; 5	1; 1	5; 5	5; 5	5; 5	2; 2	5; 5	5
IV	2; 2	2; 2	2; 2		2; 2	2; 2	2; 2	2; 2	2; 2	2; 2	2; 2	2; 2	2
V	3; 1	3; 2	3; 2	5; 5		3; 3	5; 5	3; 3	5; 5	5; 5	3; 3	4; 4	3
VI	2; 2	2; 2	2; 2	4; 4	2; 2		4; 4	3; 3	4; 4	4; 4	4; 4	1; 1	2
VII	3; 3	2; 2	2; 2	5; 4	4; 4	3; 3		5; 5	5; 5	4; 4	1; 1	3; 3	3
VIII	2; 2	1; 1	1; 1	2; 2	2; 2	2; 2	3; 3		3; 3	3; 3	2; 2	2; 2	3
IX	1; 1	1; 1	1; 1	1; 1	1; 1	1; 1	1; 1	2; 2		2; 1	1; 1	1; 1	2
X	1; 1	2; 2	2; 2	5; 4	5; 3	2; 2	4; 3	5; 5	5; 5		1; 1	2; 2	1
XI	5; 5	1; 1	1; 1	5; 5	5; 5	5; 5	1; 1	5; 5	5; 5	5; 5		5; 5	5
XII	2; 2	1; 1	1; 1	3; 3	2; 2	2; 1	3; 3	2; 2	3; 3	3; 3	2; 2		2

Выбранные оптимумы для января—апреля не вызывают никаких сомнений, потому что все оценки по соседним и отдаленным месяцам утверждают определенные варианты. Для мая выбираем вариант 3, потому что он встречается в диагональной зоне в сочетании с июнем, а в сочетании с апрелем встречается со второй оценкой после варианта 5. Для июля выбираем вариант 2, отдавая больший вес сочетанию с маем. Для июля предпочтителен вариант 3, встречающийся один раз как оптимум в диагональной зоне и со второй оценкой в сочетании с августом. Для октября предпочтение отдаем варианту 1 из сравнения с ноябрем. Остальные случаи не нуждаются в объяснениях.

На рис. 2 даются гидрографы некоторых процентилей среднего месячного стока. Очень ясно выражена плавность в изменениях месячного стока, равным образом в течение года и по обеспеченностям.

В результате изложения метода и его применения к расчетам максимального стока рек можно сделать следующие основные выводы:

1. Разработан новый объективный метод оптимального выбора аппроксимаций эмпирических распределений, основанный на анализе временных и пространственных систем распределений гидрометеорологических случайных величин, при формализации трех критериев оптимизации: оптимум объектовой аппроксимации распределения, максимальное подобие с другими распределениями системы и максимальная гарантия вычисленных параметров.

2. Метод является универсальным в отношении числа критериев и его применимости для разнообразных гидрометеорологических случайных величин.

3. Он объективный и в то же время гибкий, так как допускает вмешательство исследователя для принятия хорошо обоснованного решения при выборе оптимальных распределений.

4. Метод дает помехоустойчивые результаты оценок всех распределений системы, отбрасывая влияние резкоотклоняющихся отдельных и групповых помех.

5. Он улучшает эмпирические зависимости на этапе обобщения расчетных характеристик гидрометеорологических величин.

6. Вместе методом аналитической оптимальной аппроксимации и с двумя разработанными для его реализации программами на персональных ЭВМ [5] метод становится мощным средством в руках исследователей и проектировщиков для объективного и эффективного статистического анализа гидрометеорологических случайных величин при максимальном использовании средств автоматизации вычислений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов С. О методах повышения надежности эмпирических распределений гидрометеорологических величин. Специфические аспекты гидрологических расчетов для водохозяйственного проектирования. — Материалы международного симпозиума. Ленинград, 7 — 13 IX 1979. Л., Гидрометеоиздат, 1981, с. 195 — 201.
2. Герасимов С. Оптимальная аналитическая аппроксимация эмпирических распределений с помощью ЭВМ. — Труды ВНИИГМИ-МЦД, 1986, вып. 133, с. 50 — 61.
3. Устойчивые статистические методы оценки данных/Под ред. Р. Л. Лопнера и Г. Н. Уилкинсона. — М.: Машиностроение, 1984, — 228 с.
4. Проектирование водохозяйственных систем/Под ред. В. Х. Отмана. — М.: Стройиздат, 1984. — 510 с.
5. Герасимов С. Программа оптимальной аналитической аппроксимации обратных функций эмпирических распределений. — Национальный центр ГОМС НРБ. София.

Метод прогноза притока воды в Андижанское водохранилище на различные периоды года. Гирник Е. И. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 127(208), с. 3—31.

Сделано гидрографическое описание бассейна р. Карадарьи и рассмотрен режим стока этого бассейна. Получены уравнения корреляционной зависимости для восстановления коротких рядов по стоку отдельно для периодов март—июль и август—февраль. Проанализирован забор воды в каналы выше Андижанского водохранилища. Выявлено влияние изъятия стока рек в каналы на величину притока в водохранилище. Предлагается метод прогноза стока воды в Андижанское водохранилище.

Табл. 11. Ил. 4. Библ. 10.

УДК 556.01.013+556.06

Задача долгосрочного прогноза вегетационного стока горных рек на основе математической модели. Шенцис И. Д. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 127(208), с. 31—39.

Рассматривается задача долгосрочного прогноза вегетационного стока горных рек Средней Азии на основе математической модели: постановка задачи, методические основы и пути ее решения, некоторые полученные результаты. Приводятся вполне удовлетворительные оценки метода, полученные в процессе авторских и производственных испытаний для нескольких рек Западного Тянь-Шаня и Ферганской долины.

Табл. 2. Ил. 4. Библ. 3.

УДК 556.12+556.01.013

Численное описание полей норм осадков для модели формирования снежного покрова в горах. Шенцис И. Д. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 127(208), с. 39—49.

Решается вопрос численного описания полей норм осадков в горах, точность и корректность решения которого в значительной мере определяет точность расчета временных реализаций полей осадков и снежного покрова в модели. Рассматривается возможность получения косвенных оценок осадков по гляциоклиматической и снегомерной информации и использования этих оценок в комплексе с осадкомерной информацией для численного описания полей норм осадков. Приводятся результаты численного представления полей норм осадков в виде функций высоты местности и показателей орографии в ряде горных районов Средней Азии. Решается вопрос оценки внутригодового распределения осадков в горах.

Табл. 3. Ил. 3. Библ. 6.

Результаты производственных испытаний метода комплексной оценки снегозапасов в горах на основе использования наземной, авиадистанционной и спутниковой информации в математических моделях. Василина Л. Ю. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 127(208), с. 49—57.

Приводятся результаты производственных испытаний метода комплексной оценки снегозапасов в горах Западного Тянь-Шаня и Ферганской долины. Для оценки оперативных расчетов снегозапасов по математической модели на основе стандартной метеоинформации использованы данные наземных, авиадистанционных и спутниковых измерений снежного покрова. Предусмотренная методом в случаях значимых и систематических расхождений корректировка расчета по модели не проводилась ввиду вполне удовлетворительных результатов. Приводятся оценки сопоставления расчетов снегозапасов с результатами снегосъемок всех видов в 14 частных бассейнах. Обсуждается возможность использования получаемой расчетной информации о снеге в оперативной практике.

Табл. 5. Ил. 1. Библ. 3.

УДК 556.06

Схема получения прогнозов среднесуточных расходов воды в вегетационный период для рек Иссыката, Аламедин. Петряшова Е. В., Новиченко О. М., Нелюбова Т. Б. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 127(208), с. 57—62.

Рассматривается формирование гидрографа стока в различные периоды вегетации на реках ледниково-снегового питания. Получены уравнения регрессии для прогноза среднесуточных расходов воды по рекам Иссыката, Аламедин с заблаговременностью 1, 2, 3 сут. Основными предикторами в уравнениях была водность за предыдущий прогнозу период и значение высоты нулевой изотермы по гидрометстанции Фрунзе.

Предварительная апробация разработанного метода показала удовлетворительные результаты.

Табл. 3.

УДК 551.509.317 : 556.166.4 (575.14)

Аэросиноптические условия формирования и прогноз селевых явлений в бассейне р. Зеравшан. Салихова Д. Х., Ляховская Л. Ф. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 127(208), с. 62—69.

Обобщены аэросиноптические условия образования селевых паводков в бассейне р. Зеравшан. Выявлены четыре характерных типа полей на изобарической поверхности 500 гПа в дни с разрушительными селями. Получены дискриминантные функции для прогноза селевой опасности при холодных вторжениях и высотном циклогенезе над Средней Азией.

Оценки надежности метода и оправдываемость прогнозов селевой опасности на независимой выборке показали возможность использования его в оперативной практике гидропрогнозов.

Табл. 2. Ил. 2. Библ. 4.

Селевая опасность в Ташкентской области и ее краткосрочный прогноз. Ляховская Л. Ф. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 127(208), с. 69—74.

Обобщен материал о селях за период 1950—1985 гг. Проанализированы гидрометеорологические условия селевой опасности. Получены дискриминантные функции для прогноза селевой опасности при холодных вторжениях. В качестве предикторов использовались различные характеристики воздушных масс по данным радиозондирования и увлажненности склонов. Оценки надежности метода и оправдываемость прогнозов на независимой выборке удовлетворяют требованиям фоновых прогнозов.

Табл. 1. Ил. 1. Библ. 5.

УДК 556.535.5

Моделирование процесса формирования ледяного покрова на шугоносных реках. Агальцева Н. А., Абраменков Н. М. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 127(208), с. 75—78.

Приводится расчет перемещения кромки ледяного покрова на Амударье в случаях формирования сплошного и прерывистого ледостава. Предпринята попытка установить зависимость коэффициента уплотнения шуги в ледяном покрове и коэффициента шугохода от температуры воздуха.

Ил. 2. Библ. 2.

УДК 556.16 : 556.18

Водный баланс территории бассейна р. Зеравшан (зона влияния Аму-Бухарского канала). Рубинова Ф. Э., Доронина С. И., Хасанов О. З. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 127(208), с. 78—88.

Дается анализ структуры затрат речного стока в бассейне р. Зеравшан и ее изменения в связи с осуществлением водохозяйственного строительства. В современных условиях испарение и коллекторный сток за пределы орошаемой зоны составляют соответственно 54 и 19% от суммарных затрат, а неучтенные затраты стока — 9%.

Табл. 4. Ил. 3. Библ. 7.

Антропогенное влияние на водный и солевой сток р. Нарын.
Видинеева Е. М., Бейлинсон М. Е., Гулямова Д. А.
Труды САНИГМИ, 1988, вып. 127(208), с. 88—97.

С помощью руслового водного и солевого балансов нижнего течения р. Нарын рассмотрено влияние орошения и водохранилищ на водный и солевой сток реки. Выяснено, что под влиянием ирригации и работы водохранилищ происходит уменьшение годового водного и солевого стока по длине реки и во времени. Под влиянием Токтогульского водохранилища исчезла четко выраженная раньше закономерность во внутригодовом ходе минерализации воды в реке, уменьшилась амплитуда ее колебаний.

Табл. 3. Ил. 1. Библ. 6.

УДК 551.579.556.573

О статистической структуре поля влагозапасов поверхностного слоя почвы земель новой зоны орошения Голодной степи. Усманов В. О., Благоев В. В., Алиева Т. А. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 127(208), с. 97—103.

Выполнен анализ статистической структуры поля влагозапасов почвы слоя 0—30 см по результатам СВЧ-радиометрических съемок влагозапасов почвы в Ильичевском районе Сырдарьинской области с общей площадью 45 тыс. га. Дана оценка выборочных средних для влагозапасов, рассмотрена возможность оптимизации схемы размещения пунктов наземных измерений влагозапасов применительно к району, совхозам и отдельным полям с посевами хлопчатника, люцерны и зерновых.

Табл. 2. Ил. 2. Библ. 4.

К вопросу применения аэродистанционного сверхвысокочастотного радиометрического метода определения влагозапасов почвы для гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства. Благоев В. В., Усманов В. О., Алиева Т. А. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 127(208), с. 103—108.

Рассмотрены основные результаты опытно-производственной эксплуатации СВЧ-радиометрического комплекса для оценки влагозапасов верхнего слоя почвы орошаемой и богарной территории Узбекистана. Приведены результаты сравнения наземных и дистанционных измерений влагозапасов почвы, оценено влияние растительного покрова, минерализации, температуры и объемного веса почв на показания радиометра. Сделан вывод о возможности использования СВЧ-радиометрического метода для оценки влагозапасов без растительности и в начальные периоды вегетации растений.

Табл. 1. Ил. 1. Библ. 4.

УДК/556.133+556.57+631.621/: 582.796

Основы модели водопотребления хлопчатника применительно к воднобалансовым расчетам. Усманов В. О., Благоев В. В. Труды САНИГМИ, 1988, вып. 127(208), с. 108—115.

На основе материалов воднобалансовых исследований в Голодной степи и Ферганской долине разработана модель, предназначенная для расчетов урожайности и режима орошения посевов хлопчатника. Модель состоит из основных блоков: биологического, продуктивного водопотребления, суммарного испарения, блока расчета расхода грунтовых вод в зону аэрации, влагозапасов почвы, режима орошения и водоотведения.

Модель применима для условий орошаемых сероземов, при густоте стояния растений хлопчатника в интервале от 70 до 250 тыс. растений на га и глубинах залегания уровня грунтовых вод от одного метра и ниже.

Библ. 12.