

УДК 556.048

Канд. геогр. наук А.Г. Чигринец ¹
Канд. геогр. наук Л.П. Мазур ²

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ВНУТРИГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА ВОДЫ Р. ТЕРИСБУТАК

Ключевые слова: горная река, расход воды, водные ресурсы, обеспеченность стока, метод гидрологической аналогии, редукция, средняя высота водосбора, внутригодовое распределение стока, гидрограф стока, модуль стока, фазы водного режима, метод компоновки

Приводятся результаты исследований водных ресурсов и внутригодового распределения стока воды горной реки Терисбутак, расположенной в бассейне р. Улькен Алматы (северный склон Илейского Алатау). Расчеты внутригодового распределения стока произведены с использованием нескольких методов, что позволяет сделать выбор оптимального варианта при наличии исходных гидрологических данных различного объёма. Статистические характеристики стока воды р. Терисбутак использованы для обоснования строительства и эксплуатации водозаборов в этом бассейне при организации горнолыжного курорта Кок-Жайлау.

Исследование водных ресурсов и внутригодового распределения стока воды р. Терисбутак выполнено в связи с предстоящим строительством системы водоснабжения горнолыжного курорта Кок-Жайлау в Талгарском районе Алматинской области. Основная цель строительства горнолыжного курорта Кок-Жайлау – популяризация горнолыжного спорта и дальнейшее развитие горнолыжного туризма в Республике Казахстан. Река Терисбутак является одним из основных источников водоснабжения строящегося курортного горнолыжного комплекса, поэтому проведенные расчеты играют важную роль для организации процесса его бесперебойного водообеспечения.

Район будущего горнолыжного комплекса расположен на северном склоне Илейского Алатау, одного из наиболее увлажненных районов Респуб-

¹ КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан;

² Центрально-Азиатский университет, г. Алматы, Казахстан

лики Казахстан. Урочище Кок-Жайлау – одно из популярнейших мест воскресного отдыха горожан, отличается красивыми горными пейзажами, чистым горным воздухом и доступностью из-за близкого расположения к г. Алматы. Урочище находится в бассейне р. Улькен Алматы с развитой речной сетью, в среднем составляющей по данным [2] 0,8...1,0 км/км². Реки в исследуемом районе по положению истоков, характеру питания разделяются на два основных типа: горный и предгорный.

Район будущего строительства водозаборов расположен в бассейне р. Терисбутак, правобережного притока р. Улькен Алматы. *Р. Терисбутак* является последним значительным притоком р. Улькен Алматы в горной части бассейна. Берет начало на северном склоне хребта Илейского Алатау на высоте 3300 м над уровнем моря. Длина реки составляет всего 11 км, а площадь водосбора 32,3 км². При этом река принимает около 15 мелких притоков, наиболее значительным из которых по водности является р. Казашка, с площадью водосбора 14,8 км². Кроме этого, река интенсивно подпитывается многочисленными родниками. Средняя высота водосбора р. Терисбутак в створе гидрологического поста составляет 2250 м абс., а средний уклон водосбора – 519‰ [4]. Уклоны поверхности в районе расположения курорта незначительные, в среднем они составляют 119 м на 1000 м.

Сток многочисленных малых рек и временных водотоков в горных условиях, как правило, очень слабо освещен данными наблюдений или вовсе не изучен. Большинство неизученных водосборов находится в зоне средних высот от 1000 до 3000 м, а имеющиеся гидрометрические створы в основном приурочены к значительным водотокам или размещены у нижней границы зоны формирования стока, при выходе рек из гор, где они интегрируют сток со всех вышерасположенных физико-географических зон.

На площадях водосборов гидрометеорологические наблюдения полностью отсутствуют. Поэтому все гидрологические характеристики для расчетных створов получены с применением метода гидрологической аналогии. Створы проектируемых водозаборов расположены в бассейне р. Терисбутак: створ №1 – на р. Терисбутак в её среднем течении ($F_{\text{водосб.}} = 4,79 \text{ км}^2$); створ №2 – на левобережном притоке р. Казашка, при впадении её в р. Терисбутак ($F = 14,85 \text{ км}^2$).

Данных наблюдений за стоком в расчетных створах №1 и №2, как отмечено выше, не имеется, так как регулярные измерения расходов воды в них не производились. Расходы для створов проектирования определены

с применением данных по аналогу, за который принят гидрологический пост РГП «Казгидромет» р. Терисбутак – устье ($F = 31 \text{ км}^2$). При этом соблюдены требования нормативных документов [6, 7], а именно учтены редуция расхода воды в зависимости от площади водосбора и изменение модуля стока с изменением средней высоты водосборов горных рек.

Прежде всего были проведены расчеты среднегодового стока воды, стока, среднего за вегетационный период, а также водных ресурсов по гидропосту-аналогу р. Терисбутак – устье.

Рассчитанные статистические характеристики среднегодового стока воды и среднего стока за вегетационный период сведены в табл. 1. В этой же таблице приведены значения среднегодовых и средних расходов воды за период вегетации различной обеспеченности.

Таблица 1

Среднегодовые расходы воды и средние расходы за период вегетации различной обеспеченности по гидропосту р. Терисбутак – устье и расчетным створам №1 и №2, (период 1947...2011 гг.)

Характеристика	$Q_{\text{ср.мн.}}$ М ³ /с	Q_0 , М ³ /с	C_v	C_s	Расходы воды различной обеспеченности, М ³ /с								
					10 %	25 %	50 %	75 %	80 %	90 %	95 %	97 %	99 %
					р. Терисбутак – устье								
$Q_{\text{ср.год}}$	0,45	0,46	0,34	0,78	0,67	0,55	0,44	0,35	0,33	0,28	0,24	0,22	0,19
$Q_{\text{ср.вегет.}}$	0,63	0,63	0,35	0,79	0,93	0,76	0,60	0,47	0,44	0,37	0,32	0,29	0,24
р. Терисбутак – расчетный створ №1													
$Q_{\text{ср.год}}$	0,070	0,071	0,34	0,68	0,104	0,085	0,068	0,054	0,051	0,043	0,037	0,034	0,029
$Q_{\text{ср.вегет.}}$	0,097	0,097	0,35	0,70	0,144	0,117	0,093	0,073	0,068	0,057	0,049	0,044	0,037
р. Казашка – расчетный створ №2													
$Q_{\text{ср.год}}$	0,23	0,24	0,34	0,68	0,35	0,28	0,23	0,18	0,17	0,14	0,12	0,11	0,10
$Q_{\text{ср.вегет.}}$	0,33	0,33	0,35	0,70	0,48	0,39	0,31	0,24	0,23	0,19	0,17	0,15	0,12

Годовые водные ресурсы различной обеспеченности в гидростворе р. Терисбутак – устье, а также в расчетных створах приведены в табл. 2.

Для проектирования и эксплуатации водозаборов системы водоснабжения горнолыжного курорта Кок-Жайлау необходимы данные не только о водных ресурсах различной обеспеченности, но и сведения о внутригодовом распределении стока воды в створах будущих водозаборов, полученном с использованием различных методов.

Внутригодовое распределение стока от года к году постоянно изменяется вследствие различия в величинах расхода воды в одинаковые фазы водного режима (пики половодья, паводков, низкая межень и т.п.) и из-за сдвига времени наступления однозначных фаз режима в различные годы.

Таблица 2

Годовые водные ресурсы поверхностного стока р. Терисбутак – устье, (1947...2011 гг.), млн. м³

$W_{cp.}$	W_0	Объём воды различной обеспеченности, млн. м ³							
		25 %	50 %	75 %	80 %	90 %	95 %	97 %	99 %
Река Терисбутак – устье									
14,2	14,5	17,3	13,9	11,0	10,4	8,83	7,57	6,94	5,99
Река Терисбутак – расчетный створ №1									
2,19	2,24	2,67	2,15	1,70	1,61	1,36	1,17	1,07	0,93
Река Казашка – расчетный створ №2									
7,34	7,50	8,94	7,19	5,69	5,38	4,57	3,91	3,59	3,10

На внутригодовое распределение стока рек оказывают влияние самые различные факторы: климатические условия, рельеф местности, тип питания рек, гидрогеология и т.д. В рассматриваемом районе особенно большое влияние оказывает рельеф местности. Он определяет общие условия увлажнения, доступность речных бассейнов влажным воздушным массам, величину и распределение атмосферных осадков. Причем вертикальная поясность рельефа является одним из главных факторов внутригодового распределения стока [3].

Для расчета внутригодового распределения стока к настоящему времени имеется достаточно много методов. Из них наиболее известны следующие:

- 1) среднеарифметического (фиктивного) гидрографа;
- 2) гидрографа реального характерного года;
- 3) равнообеспеченного гидрографа;
- 4) применение специальных показателей расчета внутригодового распределения стока;

5) использование кривых продолжительности суточных расходов для описания внутригодового распределения стока;

б) метод компоновки.

Метод среднеарифметического (фиктивного) гидрографа расчета внутригодового распределения стока получил в практике большое распространение. Метод обладает тем преимуществом, что исключаются нетипичные особенности режима стока отдельных лет, а получаемые характеристики имеют большую устойчивость и мало изменяются с добавлением новых лет наблюдений.

Часто применяемые в практике характеристики внутригодового распределения стока **по нескольким фактическим (реальным) годам** различной водности дают наглядное представление об особенностях внутригодового режима стока, но могут содержать случайные, нетипичные подробности, которые свойственны только данному году.

При расчете методом «равнообеспеченного гидрографа» строятся эмпирические кривые обеспеченности среднемесячных расходов воды за каждый месяц. На практике этот метод применяется очень редко, так как реальный год не состоит из месячного стока одинаковой обеспеченности.

Сущность метода специальных показателей состоит в том, что для расчета внутригодового распределения стока применяются специальные показатели, которые дают в основном общую характеристику внутригодового распределения стока. Известно несколько десятков показателей: коэффициент естественной зарегулированности, внутригодовой неравномерности стока и др. [3].

При расчете **с использованием кривых продолжительности суточных расходов** внутригодовое распределение стока представляется не только по месяцам или сезонам, но и в виде кривых продолжительности суточных расходов, которые выражают продолжительность стояния расходов, равных данному или превышающему его. Существенным недостатком кривой продолжительности расходов является отсутствие представления о календарной последовательности расходов воды.

В практике гидрологических расчетов наибольшее распространение получил **метод компоновки** В.Г. Андреенова [1]. Этот метод расчета внутригодового распределения стока пригоден для любых задач проектирования и любых физико-географических условий, при любых типах внутригодового режима. Эта методика вошла в СНиП [6, 7], как основная, рекомендуемая для расчета внутригодового распределения стока. Харак-

теристика методов и подробный расчет внутригодового распределения стока по методу компоновки приводится в [1, 3, 5, 8].

Результаты расчета внутригодового распределения стока по месяцам методами реального характерного года для разных по водности лет и среднеарифметического (фиктивного) гидрографа приведены в табл. 3. Результаты расчета внутригодового распределения стока по месяцам методом компоновки (Андреянова В.Г.) представлены в табл. 4, а по сезонам – в табл. 5.

Таблица 5

Расчетное распределение сезонного стока (в процентах от годового) по гидростворам р. Терисбутак – устье, р. Терисбутак – расчетный створ №1 и р. Казашка – расчетный створ №2, (метод компоновки)

Водность года	Сезонный сток		
	III-IX	X-XI	XII-II
Многоводный	76,0	11,3	12,7
Средний	75,6	11,4	13,0
Маловодный	75,0	11,7	13,3
Очень маловодный	73,7	12,3	14,0

Кривые продолжительности (обеспеченности) суточных расходов воды. Построение кривых продолжительности (обеспеченности) суточных расходов воды – один из способов описания внутригодового распределения стока. Они выражают продолжительность стояния внутри года расходов, равных данному или превышающих его без привязки к календарной последовательности. Данная кривая позволяет определять величины среднесуточных расходов воды, обеспеченных в течение определенного количества дней в году и наоборот определять, сколько дней в году будет обеспечен определенный расход. Если по оси ординат откладываются расходы воды, а по оси абсцисс – продолжительность в днях, то кривая называется кривой продолжительности, если по оси ординат откладывать величины этих расходов в долях от нормы, то кривая называется кривой обеспеченности. На рис. 1 приведены кривые продолжительности суточных расходов воды за реальные годы различной водности, а в табл. 6 – продолжительность суточных расходов воды для реальных лет различной водности р. Терисбутак – устье. На рис. 2 приведена кривая обеспеченности средних суточных расходов воды $K = f(P)$ по р. Терисбутак – устье в среднем за период с 1947 по 2011 гг. В табл. 7 приводятся ординаты средней кривой продолжительности суточных расходов воды за многолетний период (1947...2011 гг.) для р. Терисбутак – устье.

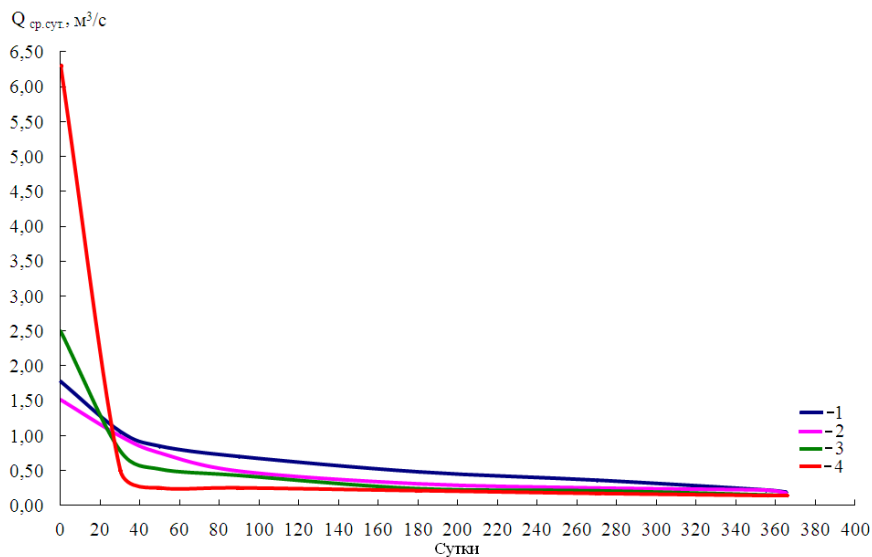


Рис. 1. Кривые продолжительности суточных расходов воды за реальные годы различной водности р. Терисбутак – устье. 1 – 2010 г. (25 %); 2 – 1990 г. (50 %); 3 – 1978 г. (75 %); 4 – 1968 г. (95 %).

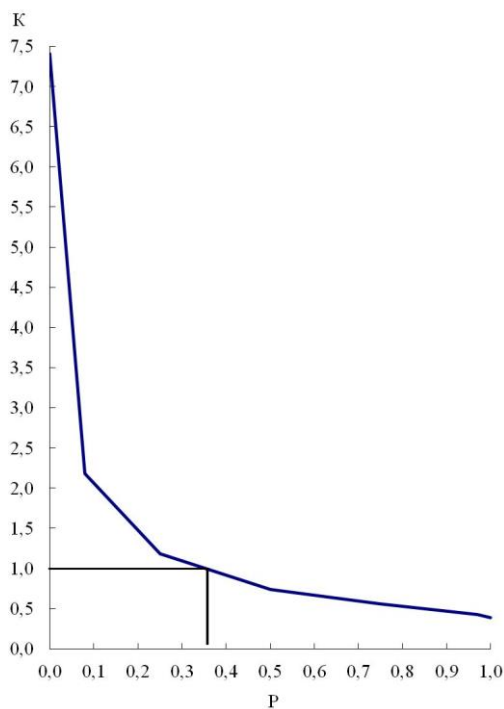


Рис. 2. Кривая обеспеченности суточных расходов воды $K = f(P)$, р. Терисбутак – устье, за период 1947...2011 гг.

Таблица 6

Продолжительность суточных расходов воды для реальных лет различной
водности р. Терисбутак, 1947...2011 гг.

Продолжительность, сутки	Расходы воды по реальным годам различной водности, м ³ /с			
	2010 г. (25 %)	1990 г.(50 %)	1978 г.(75 %)	1968 г.(95 %)
р. Терисбутак – устье				
0 (Q _{max})	1,78	1,51	2,5	6,3
30	1,06	0,99	0,78	0,5
50	0,85	0,75	0,52	0,25
90	0,7	0,49	0,43	0,25
180	0,48	0,31	0,24	0,21
270	0,36	0,25	0,21	0,17
355	0,22	0,22	0,15	0,14
365 (Q _{min})	0,19	0,18	0,14	0,14
р. Терисбутак – расчетный створ №1				
0 (Q _{max})	0,28	0,23	0,39	0,97
30	0,16	0,15	0,12	0,077
50	0,13	0,12	0,080	0,039
90	0,11	0,076	0,066	0,039
180	0,074	0,048	0,037	0,032
270	0,056	0,039	0,032	0,026
355	0,034	0,034	0,023	0,022
365 (Q _{min})	0,029	0,028	0,022	0,022
р. Казашка – расчетный створ №2				
0 (Q _{max})	0,92	0,78	1,29	3,26
30	0,55	0,51	0,40	0,26
50	0,44	0,39	0,27	0,13
90	0,36	0,25	0,22	0,13
180	0,25	0,16	0,12	0,11
270	0,19	0,13	0,11	0,088
355	0,11	0,11	0,078	0,072
365 (Q _{min})	0,098	0,093	0,072	0,072

Таблица 7

Ординаты средней кривой продолжительности суточных расходов воды (в долях от среднего многолетнего расхода) и коэффициент внутригодовой зарегулированности стока φ (в долях от среднего годового расхода для р. Терисбутак – устье, р. Терисбутак – расчетный створ №1 и р. Казашка – расчетный створ №2 (1947...2011 гг.)

Наибольший	Продолжительность, сутки/доли года					Наименьший	φ
	$\frac{30}{0,08}$	$\frac{90}{0,25}$	$\frac{180}{0,50}$	$\frac{270}{0,75}$	$\frac{355}{0,97}$		
7,41	2,18	1,18	0,74	0,56	0,43	0,39	0,78

В соответствии с полученными данными продолжительность расходов, равных или превышающих средние годовые расходы за многолетний период для р. Терисбутак – устье составляют 128 суток.

Форма кривой продолжительности суточных расходов воды отражает основные черты внутригодового распределения стока реки, в частности степень его естественной зарегулированности.

Обобщенным показателем степени изменчивости стока в течении года является коэффициент естественной зарегулированности стока φ , численно характеризующий долю устойчивого (базисного) стока в годовом его объеме. Графически величина этого коэффициента определяется площадью, ограниченной кривой продолжительности расходов, горизонтальной прямой линией, соответствующей среднему годовому многолетнему расходу и осями координат.

В однородных природно-климатических районах величина φ изменяется главным образом в зависимости от средней высоты речных водосборов. Для рек северного склона Илейского Алатау по данным [7] φ уменьшается от 0,85 при средней высоте водосбора ($H_{cp. водосб.}$) равной 1000 м БС, до 0,75 при $H_{cp. водосб.} = 3200$ м БС. При увеличении средней высоты водосбора до 3500...3600 м БС он уменьшается до 0,7. Определенный в данной работе коэффициент зарегулированности для р. Терисбутак – устье составил величину 0,78 (см. табл. 7).

Для получения абсолютных значений средней кривой продолжительности расходов (см. рис. 1) значения в относительных величинах необходимо умножить на средний за многолетний период расход воды.

Выводы. Исследование и расчёт водных ресурсов и внутригодового распределения стока воды р. Терисбутака – одна из главных гидрологических задач, которая была решена при обосновании строительства и эксплуатации водозаборов для горнолыжного курорта Кок-Жайлау. Для получения всесторонней характеристики внутригодового распределения стока расчёты его произведены с использованием нескольких методов, что позволяет сделать выбор оптимального варианта при наличии исходных гидрологических данных различного объёма, в зависимости от поставленной цели и необходимой точности. Выше также приведен краткий анализ методов, показаны их положительные стороны и недостатки. Метод компоновки является наиболее универсальным и надежным методом расчета внутригодового стока, так как, применяя его, можно рассчитать внутригодовое распределение, зная величину среднегодового расхода и его обеспеченность. Метод исключает влияние субъективных факторов реального года. Вместе с тем необходимо знать нюансы колебаний водности и в конкретные годы, в чём поможет метод анализа внутригодового распределения за реальные годы. Анализ результатов свидетельствует о том, что на внутригодовое распределение стока воды рек в рассматриваемом районе, в том числе и р. Терисбутака, оказывают влияние водность года, распределение атмосферных осадков, средняя высота водосбора и ряд других факторов. Сток этой реки за период май – сентябрь для лет разной водности находится в пределах 73,7...76 %, за октябрь – ноябрь 11,3...12,3 %, за декабрь – февраль 12,7...14,0 %. Наименьший сток наблюдается в феврале (см. табл. 4-5). Коэффициент внутригодовой зарегулированности стока φ (в долях от среднего годового расхода) для р. Терисбутака – устье имеет среднюю величину в районе, к которому отнесена эта река, согласно [7]. Результаты и методика проведенных исследований могут быть использованы для гидрологических и водохозяйственных расчётов по другим рекам исследуемого района при дальнейшем освоении горных территорий.

Статистические характеристики стока воды р. Терисбутака, результаты исследований и расчёта внутригодового распределения стока использованы для обоснования строительства и эксплуатации водозаборов в бассейне этой реки при эксплуатации горнолыжного курорта Кок-Жайлау.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев В.Г. Внутригодовое распределение стока. – Л.: Гидрометеоздат, 1960. – 328 с.

2. Жандаев М.Ж. Геоморфология Заилийского Алатау и проблемы формирования речных долин. – Алма-Ата: Наука, 1972. – 162 с.
3. Мазур Л.П., Абдрасилов С.А. Анализ и расчет внутригодового распределения стока некоторых горных рек Джунгарского и Заилийского Алатау / Вопросы прикладной физической географии и экологии Казахстана. – Алма-Ата: КазГУ, 1993. – С. 57-73.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Бассейн оз. Балхаш. Основные гидрологические характеристики. Центральный и Южный Казахстан. – Л.: Гидрометеоздат, 1967. – Т.13, Вып. 2. – 472 с.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР. Бассейн оз. Балхаш. – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – Т. 13, Вып. 2. – 643 с.
6. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. – М.: Стройиздат, 1985. – 36 с.
7. СП-33-101-2003. Определение основных расчетных характеристик – М.: Госстрой России, – 2004. – 71 с.
8. Фролова Н.Л., Нестеренко Д.П., Шенберг Н.В. Внутригодовое распределение стока рек России // Вестн. Моск. ун-та. Сер.5. География. – 2010. – №6. – С. 8-16.

Поступила 10.05.2017

Геогр. ғылымд. канд. А.Г. Чигринец
 Геогр. ғылымд. канд. Л.П. Мазур

ТЕРІСБҰТАҚ ӨЗЕНІНІҢ СУ РЕСУРСТАРЫ ЖӘНЕ АҒЫНДЫНЫҢ ЖЫЛШІЛІК ТАРАЛУЫ

Түйін сөздер: таулы өзен, су өтімі, су ресурстары, ағынды камтамасыздығы, гидрологиялық аналогия әдісі, редукция, су жинау алабының орташа биіктігі, ағындының жылшылік таралуы, ағынды гидрографы, ағынды модулі, су режимінің фазалары, жинақтау әдісі

Бұл еңбекте Үлкен Алматы өзені алабында орналасқан (Іле Алатауының солтүстік беткейі) Терісбұтақ таулы өзенінің су ресурстарын және ағындының жылшылік таралуын зерттеу нәтижелері келтірілген. Ағындының жылшылік таралуын есептеу бірнеше әдістерді қолдана отырып жүргізілді, бұл өз кезегінде бастапқы көлемі әр түрлі гидрологиялық мәліметтер болған жағдайда ең тиімді нұсқасын таңдауға мүмкіндік береді. Терісбұтақ өзені ағындысының статистикалық сипаттамалары осы алапта Көк-Жайлау тау шаңғы демалыс орнын ұйымдастыруға

қажетті құрылыс жобалары мен су жіберу имараттарын пайдалануға негіз ретінде қолданылды.

Chigrinets A.G., Mazur L.P.

WATER RESOURCES AND INTRA-ANNUAL DISTRIBUTION OF TERISBUTAK RIVER WATER RUNOFF

Keywords: mountain river, duty of water, water resources, runoff probability, method of hydrologic analogue, reduction, average altitude of water shade, intra-annual runoff distribution, runoff hydrograph, runoff module, composition method

There have been given the results of studies of water resources and the intra-annual distribution of the runoff of Terisbutak mountain river, located in the basin of Ulken Almaty river (the northern slope of the Ileisky Alatau). Calculations of the intra-annual runoff distribution are accomplished with the use of several methods, which makes it possible to choose the most optimal variant taking into account the initial hydrological data of different capacity. Statistical characteristics of Terisbutak river water runoff have been used to justify the construction and operation of water intakes in this basin during the organization of Kok-Zhailau ski resort.