

УДК 556.166/167

Канд. геогр. наук

О.А. Климентьева *

Л.Ю. Чигринец **

**МАКСИМАЛЬНЫЕ РАСХОДЫ ВОДЫ И СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ
ГОРНЫХ РЕК ЖЕТЫСУСКОГО АЛАТАУ***РЕДУКЦИЯ, ПЛОЩАДЬ ВОДОСБОРА, СРЕНЕВЗВЕШЕННАЯ
ВЫСОТА ВОДОСБОРА, ПОЛОВОДЬЕ, БАССЕЙН РЕКИ, СЕЛЕ-
ВОЙ ПОТОК, СЕЛЕВОЙ РАСХОД, НАНОСОВОДНЫЙ СЕЛЬ, ГРЯ-
ЗЕКАМЕННЫЙ СЕЛЬ*

Определены статистические характеристики максимальных расходов воды горных рек Жетысуского Алатау по данным фактических наблюдений с использованием материалов сети РГП «Казгидромет» за весь период наблюдений по 2012 г. включительно. Проведена оценка применимости методики В.М. Болдырева [1, 4] для расчета максимальных расходов воды весенне-летнего половодья неизученных рек в условиях Жетысуского Алатау. Рассчитаны характеристики селевых потоков ливневого и гляциального происхождения наносоводных и грязекаменных типов для некоторых рек Жетысуского Алатау.

Горные реки Жетысуского Алатау всё более активно вовлекаются в сферу хозяйственной деятельности человека, характеризуются повышенной водностью и чрезвычайно благоприятным, особенно для нужд орошения, режимом стока. В рассматриваемом регионе интенсивно используются для орошения воды рек Каратал, Коксу, Лепсы, Аксу и др. В бассейнах этих рек водозабор на орошение почти 200 тыс. га оценивается в размере 1,3 км³/год [2]. Территории горных водосборов также представляют большую ценность и интенсивность их использования постоянно увеличивается. В зоне формирования стока вода используется для водоснабжения, развития садоводства, получения электроэнергии, пастбищного животноводства, технических, рекреационных и других целей. В этих условиях в настоящее время уделяется повышенный интерес к изучению гидрологического режима горных рек и в частности к максимальному стоку воды. На реках Жетысуского Алатау, одного из наиболее

* РГП «Казгидромет», г. Алматы,

** КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы

селеопасных районов Казахстана и СНГ, максимальные расходы зачастую перерастают в селевые, поэтому селевые потоки на реках данного района также представляют значительный интерес. Основные трудности в изучении максимального стока воды и селевых потоков обусловлены недостатком фактической информации, и её пониженным качеством. В связи с этим большую значимость приобретает совершенствование существующих и разработка новых методов расчёта максимального стока воды неизученных рек, а так же уточнение методик расчёта характеристик селей.

В работе выявлены наиболее важные факторы и закономерности формирования максимального стока рек рассматриваемого района. Реки низкогорно-предгорного пояса Жетысуского Алатау ($H_{cp.} < 1000$ м, $F < 1000$ км²) характеризуются весенним половодьем, которое формируется преимущественно тальми водами сезонных снегов. На реках с площадями водосборов менее 300 км² здесь могут наблюдаться максимальные расходы воды дождевого происхождения. Малые реки среднегорного пояса ($H_{cp.}$ от 1000 до 2800 м и $F < 1000$ км²) характеризуются весенне-летним половодьем с наибольшими расходами воды обычно смешанного (снего-дождевого) происхождения. Здесь также наблюдаются дождевые паводки, которые часто в несколько раз превышают талые [6].

По размерам оледенения Жетысуский Алатау занимает первое место в Казахстане. К 2000 г. в Казахстанской Джунгарии (Жетысуском Алатау) насчитывалось 1298 ледников общей площадью 528,01 км² (в 1956 г. было 1412 ледников общей площадью 841 км²), то есть за период 1956...2000 гг. площадь оледенения уменьшилась на 37,2 %. В ближайшие десятилетия связанные с деградацией оледенения процессы (стаивание ледников, их распад на более мелкие) будут продолжаться не менее интенсивно [3]. Таким образом, реки высокогорного пояса Жетысуского Алатау ($H_{cp.} > 2800...3000$ м) характеризуются тем, что в формировании максимальных расходов воды большую роль играют талые воды высокогорных снегов и ледников. В отдельные годы жидкие осадки могут лишь незначительно их увеличивать. Здесь могут возникать катастрофические паводки от прорыва ледниковых озёр [6].

В работе оценена изученность максимального стока воды рек Жетысуского Алатау по состоянию на 2012 год. Проведен анализ полноты и качества наблюдений. В результате исследований отмечена некоторая неравномерность изученности максимального стока отдельных районов:

большинство гидропостов (около 80 %) находятся в бассейнах рек Каратал, Лепсы, Тентек и Аксу. Их подавляющее число располагается в зоне средних высот 1500...2500 м, слабо освещены наблюдениями верхняя и нижняя зоны. Низким качеством отличаются материалы ведомственной сети. Здесь отсутствуют данные о наибольших срочных расходах воды. Исходными материалами для расчета максимального стока воды послужили данные наблюдений по 21 пункту сети РГП «Казгидромет». Наибольшее количество гидропостов находится в бассейне реки Каратал при выходе из гор, где пункты наблюдений расположены в различных высотных зонах и освещают значительный диапазон площадей водосборов. Основным недостатком исходных данных является небольшое количество пунктов наблюдений в районе бассейна реки Лепсы и Тентек, а также неравномерное их размещение по высотным зонам. Авторами были собраны среднемесячные, среднегодовые и максимальные расходы воды с датами их наступления за весь период наблюдений по 2012 г. включительно. Длительность рядов максимального стока воды колеблется от 4 до 73 лет. Наиболее продолжительные периоды наблюдений имеются по гидропостам р. Сарканд – г. Сарканд (73 года), р. Тентек – клх. Тункуруз (68 лет), р. Каратал – ж.д. ст. Уштобе (62 года) и р. Карой – г. Текели (60 лет). Пропуски в рядах максимальных расходов воды были восстановлены следующими методами: по связи среднегодовых и максимальных расходов воды по одному и тому же гидропосту; по связи максимальных расходов воды исследуемого створа с максимальными расходами рек-аналогов; по связям максимальных расходов воды со среднесуточными расходами воды за те дни, когда наблюдался максимальный расход; по связи среднегодовых и средних за вегетационный период расходов воды; по графикам связи максимальных расходов воды с объемом стока за половодье и др.

Ряды наблюдений за максимальным стоком воды по каждому пункту подвергались тщательному анализу, проверялись на репрезентативность и однородность. Суммарные интегральные кривые максимальных расходов воды, а также расчётные критерии Фишера, Стьюдента и Вилкоксона показали, что рассматриваемые ряды в основном однородны. Лишь в некоторых случаях однородность нарушается попаданием в рассматриваемые ряды наносоводных селевых расходов. Однородность рядов максимального стока объясняется тем, что рассматриваемые пункты наблюдений находятся в зоне формирования стока, где он мало искажен хозяйственным использованием. Это подтверждено анализом сведений о водозаборах из рек в зоне

формирования стока и на ее границе, который показал, что по различным гидропостам Жетысуского Алатау водозаборы в среднем составляют от 1 % до 5 % от среднегодовых значений расходов воды [10]. Эти значения сопоставимы с ошибками измерений расходов воды и с точностью определения нормы стока воды в этих гидросторах [8, 9].

Анализ многолетних колебаний максимального стока воды и выбор репрезентативных периодов для расчета нормы максимального стока воды по различным створам проводился с использованием разностных интегральных кривых модульных коэффициентов максимальных расходов воды. Совмещенные разностные интегральные кривые максимальных расходов воды по гидропостам с наиболее длительными периодами наблюдений приведены на рис. 1. Выявлено, что колебания максимальных расходов воды в различных створах в основном синхронны. Асинхронность в отдельные периоды обусловлена неравномерным выпадением осадков по территории и различием в питании рек.

Одним из основных этапов работы было определение статистических характеристик максимальных расходов воды по данным фактических наблюдений. Норма максимальных расходов воды, коэффициенты вариации и асимметрии рассчитаны методом моментов и графоаналитическим методом Г.А. Алексева. Основные характеристики максимального стока воды и их отклонения от [6] приведены в табл. 1. Отклонения расходов 1 % обеспеченности ($Q_{\max 1\%}$) от данных, приведенных в [6], в среднем составляют $\pm 14\%$. Большие отклонения в некоторых случаях объясняются значительным удлинением рядов наблюдений по сравнению с [6]. Норма максимального стока воды рек рассматриваемого региона колеблется от $4,28 \text{ м}^3/\text{с}$ (р. Каиндысай – с. Березовка) до $304 \text{ м}^3/\text{с}$ (р. Тентек – клх Тункуруз).

Коэффициент вариации C_v максимального стока воды находится в диапазоне от 0,35 до 2,2, а коэффициент асимметрии C_s – от 0 до 3,3. Параметры кривых обеспеченности были рассчитаны графо-аналитическим методом Г.А. Алексева. При значительном отклонении экстремальных точек от кривой применялось усеченное распределение [3, 7]. Максимальные расходы воды различной обеспеченности приведены в табл. 2.

Результаты исследований показывают, что полученные характеристики максимального стока воды могут быть использованы для проектирования на стадии предварительного расчета и подлежат уточнению на более обширном фактическом материале.

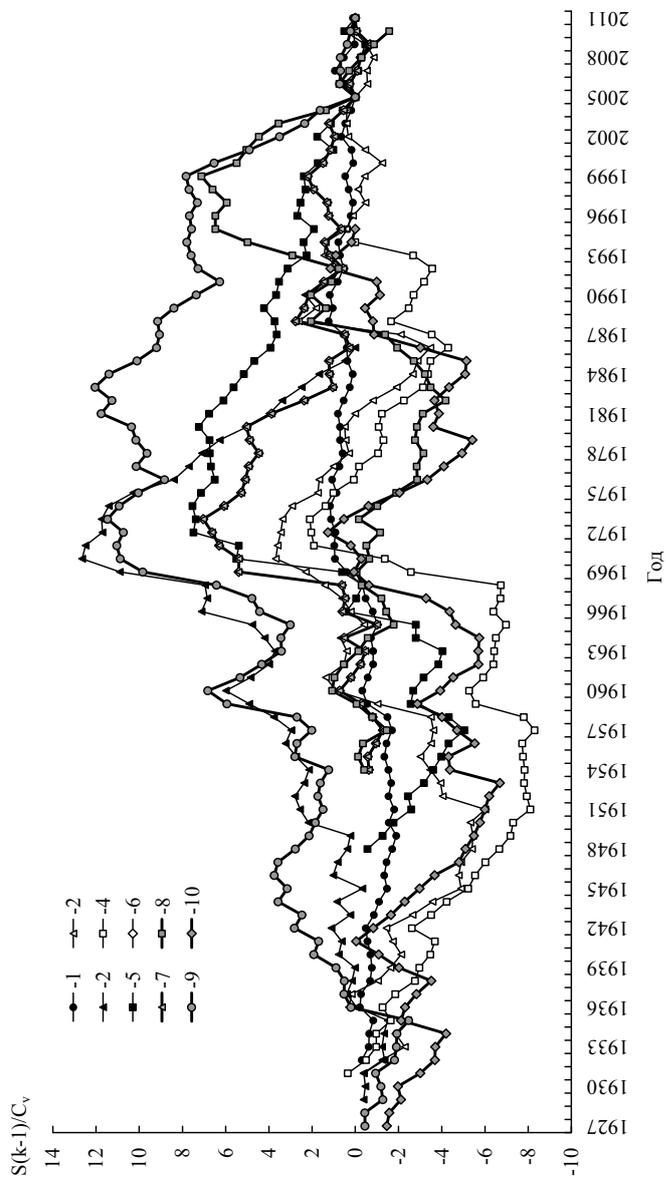


Рис. 1. Совмещенные разностные интегральные кривые максимальных расходов воды горных рек Жетысуйского Алатау:
 1 – р. Лепсы – г. Лепсинск; 2 – р. Тентек – клх Гункуруз; 3 – р. Аксу – с. Джансуурова; 4 – р. Каратал – ж.-д. ст Уштобе;
 5 – р. Бйже – свх Красногоровка; 6 – р. Коктал – с. Араитобе; 7 – р. Коксу – с. Коксу; 8 – р. Карой – г. Текели;
 9 – р. Сарканд – г. Сарканд; 10 – р. Баскан – с. Новотокровка.

Таблица 1
Средние за многолетний период максимальные расходы воды рек Жетысуского Алатау и их отклонения от данных, опубликованных в [6]

Река – пункт	Площадь водосбора, км ²	Высота водосбора, м	Период наблюдений	Число лет	$Q_{\max, \text{расч.}}$, м ³ /с	$Q_{\max, \text{из [2]}}$, м ³ /с	отклонение от [6], %
р. Лепсы – г. Лепейск	1220	2330	1932...2012	73	121,9	114	-6,48
р. Каратал – ж/д ст. Ушгобе	13200	-	1931...1994	63	323,4	295	-8,78
р. Теректы – с. Веселое	498	1720	1951...1991	40	70,62	62,0	-12,2
р. Баскан – с. Новопакровка	883	2265	1927...1972	69	42,43	40,9	-3,61
р. Сарканд – г. Сарканд	645	2490	1927...2012	78	36,03	37,1	2,97
р. Аксу – с. Джанеугурова (Абакумовка)	1330	2240	1929...1983	57	69,22	72,1	4,16
р. Кызылагаш – с. Кызылагаш	1080	1260	1949...1991	43	30,3	24,5	23,7
р. Карой – г. Текели	1080	1260	1940...2012	65	84,25	73,5	-12,8
р. Тентек – клх Тункуруз	3300	-	1931...2012	74	273,7	304	11,1
р. Каиндысай – с. Березовка	25,5	1380	1951...1990	39	4,28	6,30	47,2
р. Коку – с. Коку	1590	2950	1954...2012	51	190	210	10,5
р. Коку – ущ. Кук-Креу	3670	2310	1929...1969	41	297,3	277	-6,83
р. Коктал – с. Аралтобе	293	2910	1946...2012	59	51,63	56,0	8,46
р. Бижэ – с. Красногоровка	8252	1490	1948...2012	57	17,65	22,2	25,8
р. Жангыз – с. Жангызгаш	90,4	1680	1947...1991	46	7,23	7,05	-2,49
р. Чиже – г. Текели	680	2190	1952...2012	34	72,1	86,8	20,4

Таблица 2

Максимальные расходы воды различной обеспеченности рек Жетысуского Алагау

Река – пункт	Q_{0max} , м ³ /с	C_v	C_s	Расходы воды различной обеспеченности, м ³ /с				
				0,1 %	1 %	3 %	5 %	10 %
р. Лепсы – г. Лепсинск	122	0,40	1,1	350	272	233	214	187
р. Аганакты – с. Жаланаш	49,7	0,62	3,3	279	178	132	110	83,0
р. Теректы – с. Веселое	70,6	0,57	1,9	303	214	171	151	123
р. Каратал – ж.-д. ст. Ушгобе	323	0,48	0,2	2312	1545	1150	960	666
р. Сарканд – г. Сарканд	36,0	0,35	0,6	93,2	74,1	64,4	59,7	52,9
р. Аксу – с. Джансугурова (Абакумовка)	69,2	0,45	1,6	237	175	145	130	111
р. Кызылагаш – с. Кызылагаш	43,0	1,25	2,9	419	258	186	150	105
р. Карой – г. Текели	84,2	2,20	0,8	240	190	160	145	122
р. Карой – 13 км выше устья	53	0,20	0,2	91,8	80,7	74,6	71,6	67,0
р. Тентек – клх Тункуруз	274	0,42	0,7	1600	1000	750	600	471
р. Коксу – с. Кокеу	190	2,20	0,0	1000	600	420	340	268
р. Коксу – ущ. Кук-Креу	297	0,51	2,0	1193	843	678	601	494
р. Коктал – с. Аралтобе	51,6	2,20	0,6	201	128	102	90,0	73,6
р. Биже – с. Красногоровка	17,6	0,63	1,5	240	140	90	65	41
р. Жангыз – с. Жангызгааш	7,23	0,88	2,4	47,8	31,3	23,8	20,0	15,2
р. Чиже – г. Текели	72,1	0,36	1,0	189	150	130	120	106
р. Биен – бр.3 клх Арасан	17,94	0,53	2,0	74,0	52,4	42,0	37,2	30,0
р. Жаманты – с. Жаманты	35,22	0,62	1,5	149	108	87,4	78,0	64,3

Как было отмечено выше, расчет максимальных расходов воды, особенно для горных рек, является сложной и трудоёмкой задачей. Основные трудности в её разрешении обусловлены недостатком фактической информации и её качеством, получение которой связано с организацией специальных трудоёмких и продолжительных наблюдений. В этих условиях большое значение приобретает использование, уточнение существующих и разработка новых методов расчёта характеристик максимального стока воды неизученных рек, что явилось одной из следующих главных задач работы.

Авторами проведен анализ существующих методов расчета максимальных расходов воды при отсутствии фактических данных наблюдений и предложены уточнения к ним для рек рассматриваемого района. Методологической основой исследований явилось использование методики расчёта максимальных расходов воды весенне-летнего половодья для горных рек с питанием смешанного типа, учитывающей зависимость слоя стока половодья от средневзвешенной высоты водосбора, а также редукцию максимального модуля стока с возрастанием площади водосбора. Новизна работы состоит в проверке применимости в условиях Жетысуского Алатау, с использованием фактических данных, методики расчета максимальных расходов воды весенне-летнего половодья неизученных рек, предложенной в [6] и апробированной В.М. Болдыревым для рассматриваемой территории [1,4].

В основу данной методики на исследуемой территории положена эмпирическая редукционная зависимость максимального модуля стока от обуславливающих его факторов – площади водосбора, высоты водосбора, слоя стока за половодья и др.

Формула выражается зависимостью максимального модуля стока 1 % обеспеченности от определяющих факторов и имеет вид:

$$q_{1\%} = \frac{B_{1\%}}{(F+1)^n} = \frac{k_0 h_{1\%}}{(F+1)^n} = \frac{A h_{1\%}}{H_{cp.}^3 (F+1)^n}, \quad (1)$$

где $q_{1\%}$ – максимальный модуль стока 1 % обеспеченности, в л/с км²; F – площадь водосбора, км²; $B_{1\%}$ – суммарный параметр, пропорциональный максимальному модулю притока; n – показатель степени, характеризующий редукцию (уменьшение коэффициента дружности половодья в зависимости от площади водосбора); $h_{1\%}$ – слой стока за половодье, обеспеченностью 1 %, в мм; k_0 – коэффициент дружности половодья; A – район-

ный параметр, характеризующий совокупность местных особенностей;
 $H_{ср.взв}$ – средневзвешенная высота водосбора, (максимальный модуль
 притока $B = q_0$ при $F \rightarrow 0$, $r = \sigma = 1$).

Для расчета максимального расхода воды по формуле (1) используются зависимости слоя стока за половодье 1 % обеспеченности от средневзвешенной высоты водосбора (рис. 2).

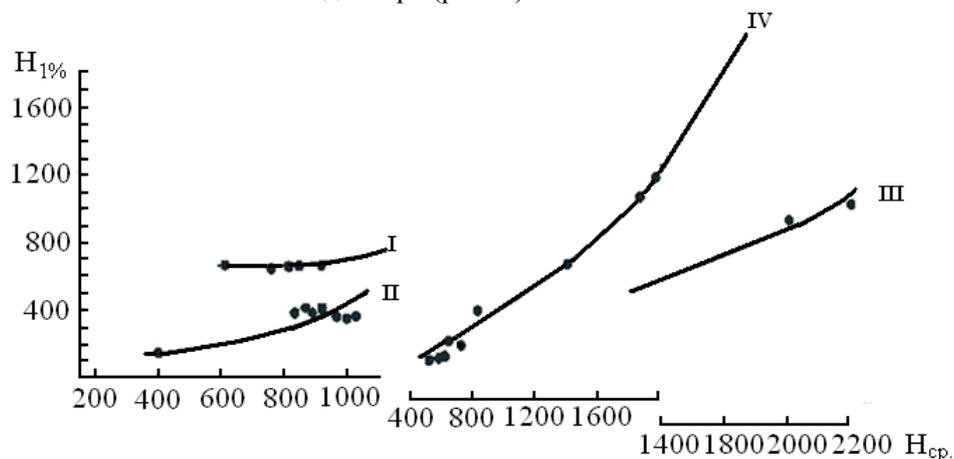


Рис. 2. Зависимость слоя стока половодья 1 % обеспеченности от средней высоты водосбора для рек Жетысуского Алата [6].

В [6] на рассматриваемой территории было выделено 4 зависимости $h_{1\%} = f(H_{ср.взв.})$: I – бассейны рек Тентек, Лепсы, Баскан, Жаманты; II – бассейны рек Аксу, Биен, Сарканд, Кызылагаш; III – бассейн реки Каратал (Карой, Чиже, Каиндысай); VI – бассейн реки Каратал (Каратал, Биже, Жангыз, Коксу, Коктал).

Нашими исследованиями это районирование подтвердилось (рис. 3А).

В формуле (1) значение B изменяется в зависимости от высоты и орографии местности в значительных пределах. В среднегорной зоне Жетысуского Алатау ($1000 < H_{нд.а́са} < 3000$ м) $B = 3,5 \text{ м}^3/\text{с} = 12,6 \text{ мм/час}$. Для высокогорной зоны, где максимальный модуль притока обуславливается таянием снега и льда, $B = 0,71 \text{ м}^3/\text{с} = 2,56 \text{ мм/час}$.

Увеличение параметра B в среднегорной зоне по сравнению с высокогорной объясняется одновременным участием в формировании максимальных расходов рек среднегорной зоны дождевых и талых вод. Схема районирования параметра A приведена на рис. 3Б.

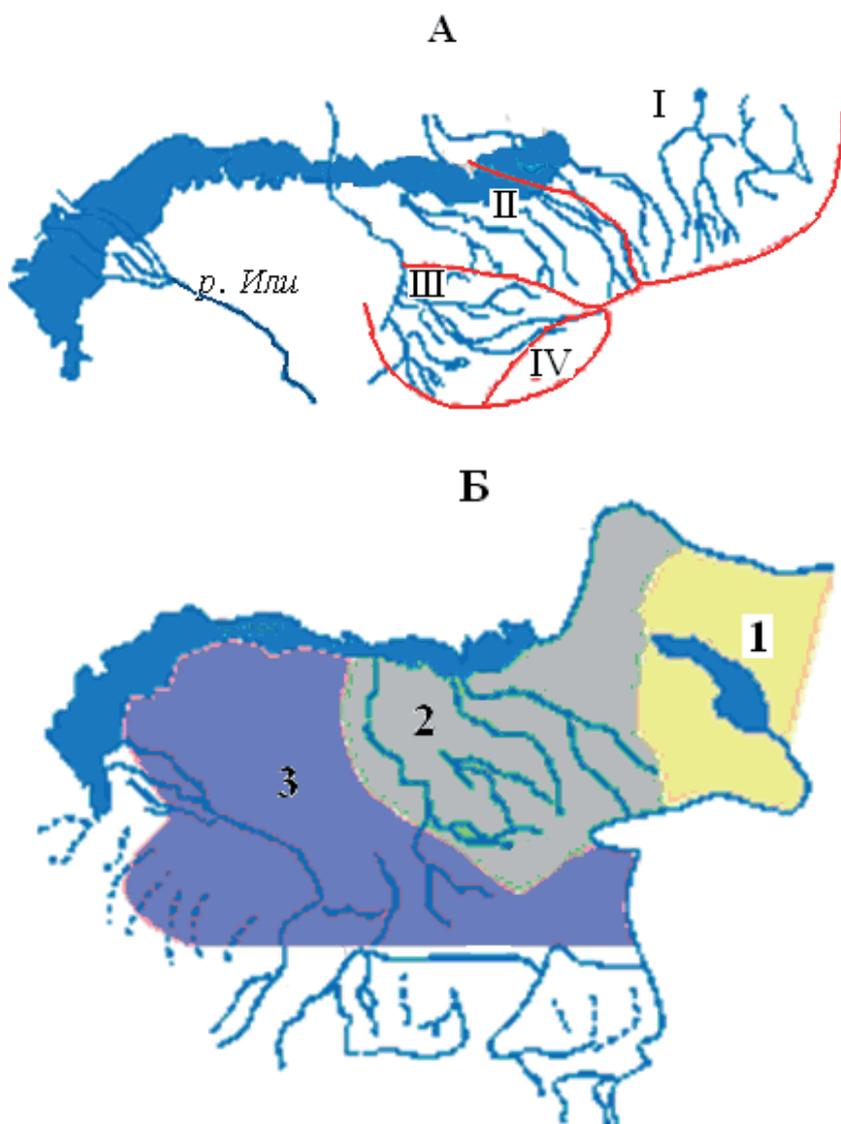


Рис. 3. Схемы к расчёту максимальных расходов воды по методике В.М. Болдырева [1,6].

А – схема районирования территорий бассейнов рек Жетысуского Алатау по зависимости $H_{1\%} = f(H_{cp.бзв})$; Б – схема районирования параметра А:

$$1 - A = 10, 2 - A = 20, 3 - A = 30.$$

Для определения показателя степени редукции нами была построена зависимость (рис. 4):

$$\frac{q_{1\%}}{h_{1\%}} = f(F). \quad (2)$$

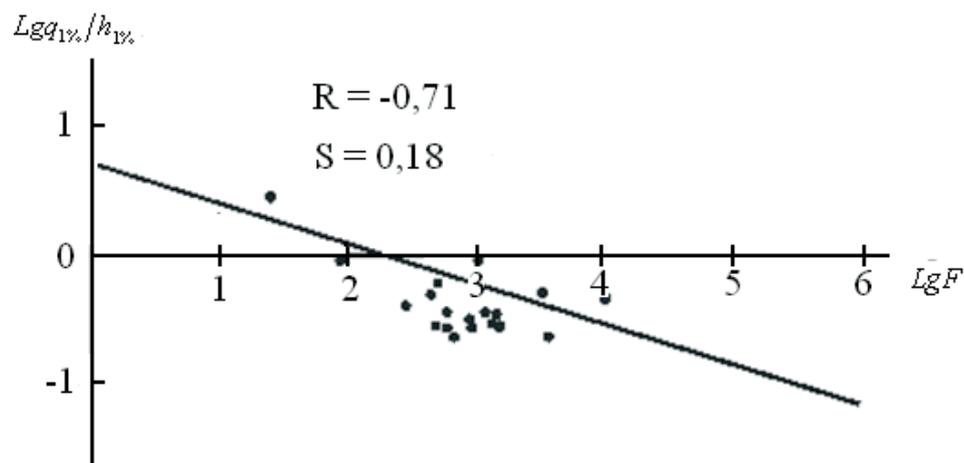


Рис. 4. Зависимость $\frac{q_{1\%}}{h_{1\%}} = f(F)$ для рек Жетысуского Алатау с

$$H_{\text{ср.взв}} = 1000 \dots 3000 \text{ м } LgF.$$

Зависимость степени редукции, полученная из графика связи $h_{1\%} = f(H_{\text{ср.взв.}})$, имеет вид:

$$H = 0,50 - 0,1 \cdot H_{\text{ср.взв}}, \quad (3)$$

где $H_{\text{ср.взв}}$ – средневзвешенная высота водосбора в км.

Уменьшение показателя степени редукции с увеличением высоты водосбора объясняется характером водоотдачи в различных высотных зонах. В низкогорных и среднегорных зонах, где формирование максимальных расходов воды обуславливается интенсивностью таяния сезонных снегов и ливневыми осадками, коэффициент редукции, выражающий зависимость дружности половодья от площади водосбора, велик. В высокогорных зонах влияние площади бассейна на дружность половодья сводится к минимуму, что объясняется несоизмеримостью наибольших расходов половодья в период таяния снежников и ледников с общей площадью водосбора [1, 6].

Коэффициент дружности половодья K является сборным параметром, включающим влияние ряда факторов (форма водосбора, экспозиция, средняя высота водосбора и др.). Величина K изменяется в значительных пределах и уменьшается в зависимости от высоты водосбора. Аналитическая зависимость $K = f(H_{\text{ср.}})$ выражается уравнением:

$$K = \frac{A}{H_{cp}^3} . \quad (4)$$

Отношение $\frac{Q_{1\% \text{ расч.}}}{Q_{1\% \text{ факт.}}}$ в среднем составляет 0,8. Следовательно, по

нашим расчетам, для горных рек Жетысуского Алатау формула (1) занижает максимальный расход воды в среднем на 20 %. Наши исследования показали, что методика [1, 4] для расчета максимальных расходов воды рек Жетысуского Алатау требует уточнения с применением более обширного объема фактических данных.

Жетысуский Алатау является одним из наиболее селеопасных районов Казахстана, максимальные расходы воды рек могут переходить в селевые вследствие большого насыщения твёрдым материалом. Селевые расходы более катастрофичны, чем максимальные расходы воды, поэтому расчёт их характеристик весьма актуален. В связи с этим значительная часть работы посвящена антологии селей горных рек Жетысуского Алатау, анализу факторов их формирования и расчёту основных параметров.

По данным РГП «Казгидромет» и «Казселезащиты» из 788 селей, прошедших с 1841 года на территории Казахстана, 114 приходится на Жетысуский Алатау [10]. В Жетысуском Алатау в современный период наиболее селеносны бассейны рек его северо-западной территории, особенно бассейн р. Текели, случаи прохождения селей отмечены также в бассейнах рек Аксу, Жангыз, Сарканд, Тентек, Жаманты, Чиже и некоторых других. Для Жетысуского Алатау характерны наносоводные и грязекаменные селевые потоки, причем наиболее мощные сели чаще всего – грязекаменные. Выявлено, что преобладают сели ливневого происхождения, а в последние десятилетия участились сели гляциального происхождения в связи с деградацией оледенения.

Селеопасный период в Жетысуском Алатау – апрель – первая половина сентября. Повторяемость селей характеризуется эпизодичностью и внезапностью. Продолжительность действия селей в большинстве случаев от нескольких десятков минут до нескольких часов. Сели, продолжительностью 1...2 часа составляют около 50 %, 2...4 часа – около 20 %, 4...6 часов – около 10 %. Для условий Жетысуского Алатау предельные значения плотности селей составляют 2400...2540 кг/м³. Селевые выносы в данных районах достигают 6 млн. м³ и даже более. Некоторые сведения о выдающихся селях рассматриваемого района приведены в табл. 3.

Таблица 3

Сведения о выдающихся селях на горных реках Жетысуского Алатау

Река	Дата	Происхождение	Q_{\max} , м ³ /с
Баскан	16.03.2009 г.	интенсивное таяние, повышенные температуры	76,3
Биен	12.07.1988 г.	ливневые дожди	100
Борохудзир	23.05.1985 г.	интенсивный продолжительный ливень	60...70
Борохудзир	27.06.1988 г.	сильные дожди, интенсивные снеготаяния	80
Бурхан	04.07.1982 г.	сильный дождь	140...150
Каратал	09.06.1978 г.	сильный дождь	150
Каратал	14.07.1988 г.	сильные дожди	400
Лепсы	12.05.1990 г.	сильные осадки	120
Лепсы	15.04.2007 г.	сильные осадки	220
Сарканд	08.09.1982 г.	прорыв моренного озера	120...150
Текели	07.04.1959 г.	снеготаяние, сильный ливень	99
Текели	08.04.1959 г.	снеготаяние, сильный ливень	16...250
Текели	28.04.1959 г.	ливневой дождь	44
Тентек	16...18.05.1998 г.	интенсивное таяние, дожди	500
Осек	23...24.07.2007 г.	сильные осадки	220
Осек	12.06.2010 г.	интенсивное таяние, осадки	120
Коргос	20.06.2010 г.	интенсивное таяние, осадки	160
Чиже	28.05.1980 г.	ливневой дождь	80

При выполнении исследований авторами кроме максимальных расходов воды рассчитаны характеристики селевых потоков ливневого и гляциального происхождения наносоводных и грязекаменных типов для некоторых рек Жетысуского Алатау.

Расчёт водной составляющей селевых потоков ливневого происхождения производился по формуле предельной интенсивности стока, адаптированной к исследуемому району [6]:

$$Q_{1\%} = 16,67 \varphi \cdot \overline{\psi}(\tau) \cdot H_{1\%} \cdot F, \quad (5)$$

где $Q_{1\%}$ – максимальный (срочный) расход обеспеченности 1 %, в м³/с; 16,67 – коэффициент размерности; φ – сборный коэффициент максимального стока определяется в зависимости от высоты водосбора; $\overline{\psi}(\tau) = \frac{\psi(\tau)}{\tau} = \frac{H_\tau}{\tau H_p}$ – параметр редукции; $\psi(\tau) = \frac{H_\tau}{H_p}$ – коэффициент редукции, выражающий отношение между максимальным слоем дождя H_τ за время τ минут и максимальным суточным слоем дождя H_p , мм; $H_{1\%}$ – максимальные суточные слои дождя; F – площадь водосбора в км².

Безразмерный коэффициент φ равен произведению трёх коэффициентов:

$$\varphi = \varphi_\tau \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2, \quad (6)$$

где φ_τ – коэффициент стока для наибольшего слоя осадков $\varphi_\tau = J_\tau \tau$ за расчетную продолжительность осадков; $\varphi_1 \leq 1$ – коэффициент, зависящий от неравномерности выпадения осадков по площади бассейна; φ_2 – коэффициент, зависящий от регулирующего влияния бассейна (склонов и русловой сети).

Сборный коэффициент стока, полученный обратным путем:

$$\varphi = \frac{q_{1\%}}{16,67 \overline{\psi}(\tau) H_{1\%}}, \quad (7)$$

определяется в зависимости от высоты водосбора.

При проведении расчётов максимальных расходов воды по формуле (5) использованы уточнённые данные суточных максимумов осадков. Для их получения авторами проведена большая, скрупулёзная работа по выбору суточных максимумов осадков за конкретные годы по 9 метеостанциям и дождемерным пунктам за весь период наблюдений по 2012 год включительно. Построены кривые обеспеченности суточных

максимумов осадков, по которым определены суточные максимумы осадков 1 % обеспеченности, построены их зависимости от высоты местности (рис. 6). Среднее отклонение суточных максимумов осадков 1 % обеспеченности, полученных авторами по фактическим данным, с суточными максимумами осадков, приведёнными в [6], составляет в среднем 21,7 %, причём осадки, полученные по уточнённым данным, выше приведённых в [6].

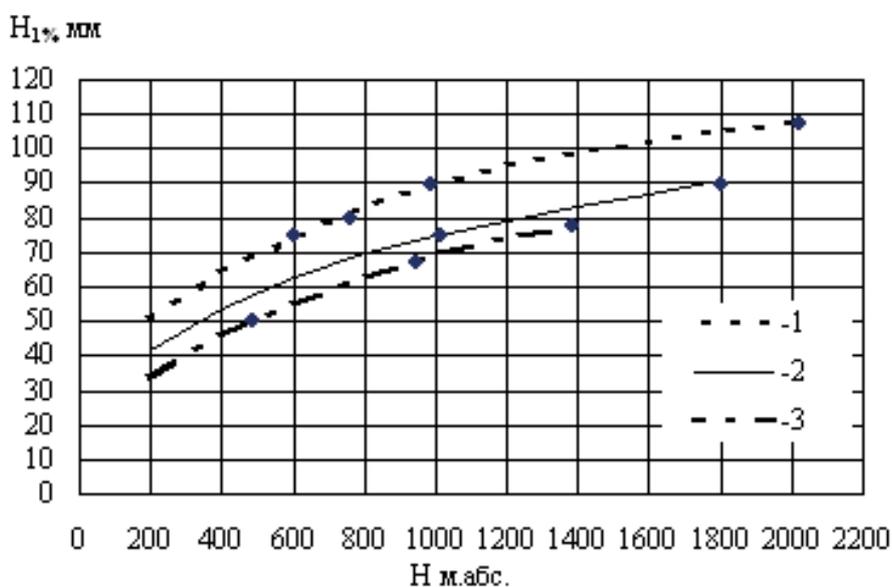


Рис. 6. Зависимость суточных максимумов осадков 1 % обеспеченности от высоты местности для бассейнов рек Жетысуского Алатау за период 1920...2012 гг. 1 – бассейн рек Сарканд, Текели, Каратал; 2 – бассейн рек Лепсы, Баскан; 3 – бассейн рек Кызылагаши, Биже.

Расчёт водной составляющей селевых потоков ливневого происхождения приведён в табл. 4.

Водная составляющая селевого потока гляциального происхождения рассчитана в двух вариантах, согласно [5].

При прорыве моренного озера или при прорыве открытых водоёмов на ледниках (формула КазНИГМИ) [5]:

$$Q_{\max 1\%} = 220(F_{\text{л}} - 0,5)^{0,8}, \quad (8)$$

$$W_{\max 1\%} = 0,31(F_{\text{л}} - 0,5)10^6, \quad (9)$$

где F_d – площадь наибольшего ледника в расчетном бассейне; $Q_{\max 1\%}$, $W_{\max 1\%}$ – соответственно расход и объём водной составляющей селевого потока 1 % обеспеченности.

При прорыве внутриледниковых ёмкостей или скрытых водоёмов:

$$Q_{\max 1\%} = 110(F_{\bar{e}} - 0,5)^{0,8}, \quad (10)$$

$$W_{\max 1\%} = 0,14(F_{\bar{e}} - 0,5)10^6. \quad (11)$$

Расчет водной составляющей селя гляциального происхождения приведен в табл. 5.

Расчет характеристик наносоводного селя 1 % обеспеченности производился по формулам КазНИИГМИ (Ю.Б. Виноградов, Б.С. Степанов), приведённым в [5].

Максимальный селевой расход 1 %-ной обеспеченности определялся по формуле:

$$Q_{\max 1\%, \text{селевой}} = \frac{Q_{\max 1\%, \text{воды}}}{(1 - S_T)}. \quad (12)$$

Максимальный объём селя 1 %-ной обеспеченности определялся по формуле:

$$W_{\max 1\%, \text{селевой}} = \frac{W_{\max 1\%, \text{воды}}}{(1 - S_T)}, \quad (13)$$

где S_T – предельная объемная концентрация твердой составляющей наносоводного селевого потока.

$$S_T = 2,33 \sin \alpha, \quad (14)$$

α – уклон русла на участке длиной 300 м выше расчетного створа.

Плотность селя определялась по формуле:

$$\rho_{\text{селя}} = \rho_0 + S_T(\rho_T - \rho_0), \quad (15)$$

где ρ_0 – плотность воды; ρ_T – плотность твердой составляющей селя.

$$\rho_T = 2,73 \div 2,75 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}; \left(\frac{\text{м}}{\text{м}^3} \right) = 2750 \text{ кг} / \text{м}^3. \quad (16)$$

Расчет характеристик грязекаменного селя производился по следующей формуле:

$$Q_{\max 1\%, \text{селевой}} = K_{\bar{e}} \cdot K_1 \cdot Q_{\max 1\%, \text{воды}}, \quad (17)$$

где $K_{\bar{e}}$ – коэффициент валообразования, принимается равным 2, если $K_{\bar{e}} Q_{\max} > 1000$ и 2,5 если $K_{\bar{e}} Q_{\max} < 1000$; K_1 – коэффициент, который

определяется по графику $K_1 = f\left(\frac{H}{y}\right)$, приведённому в [5]; H – превышение начала участка над его концом (падение на участке); y – устойчивость грунта к эрозии.

Таблица 4

Расчет водной составляющей селевого потока ливневого происхождения по гидропостам на реках Жетысуского Алатау [5]

Река – пункт L , км F , км² i , ‰ H_{cp} , м $H_{1\%}$, мм

						φ	V , м/с	τ_p	τ_0)	Q , м ³ /с
р. Сарканд – г. Сарканд	43	645	58	2490	111	0,15	2,48	289	607	0,00155	277
р. Текели – устье р. Черкасай	9	29,7	118	2080	107	0,15	2,97	51,0	107	0,00592	47
р. Тамды – с. Каратальское	12	17,3	102	1600	102	0,15	2,86	70	147	0,00444	20
р. Теректы – с. Малиновка	14	46,9	74	1670	82	0,15	2,64	88	185	0,00389	37

Таблица 5

Расчет водной составляющей селевых потоков гляциального происхождения по гидропосту р. Теректы – с. Малиновка

Река – пункт	$F_{наиб.ледн.}$, км ²	$Q_{max1\%}$, м ³ /с	$Q_{max0,1\%}$, м ³ /с	λ	$W_{1\%}$, м ³
р. Теректы – с. Малиновка	0,241	70,5	89,5	1,27	74710
	при прорыве моренного озера				
р. Теректы – с. Малиновка	0,241	35,2	44,8	1,27	33740
	при прорыве внутриледниковых ёмкостей				

Таблица 6
 Расчет характеристик наносоводного селевого потока по гидростам на реках Жетысууского Алагау

Река – пост	F , км ²	L , км	Водная составляющая		St	$Q_{селев.1\%}$, м ³ /с	$W_{селев.1\%}$, м ³	ρ , кг/м ³
			$Q_{водн.1\%}$, м ³ /с	$W_{водн.1\%}$, м ³				
Селевые потоки ливневого происхождения								
р. Сарканд – г. Сарканд	645	43	277	10965000	0,14	321	12678353	1236
р. Текели – устье р. Черкассай	29,7	9	47,0	476685	0,27	64,9	657442	1481
р. Тамды – с. Каратальское	17,3	12	19,6	264690	0,24	25,7	347207	1416
р. Теректы – с. Малиновка	46,9	14	37,4	576870	0,17	45,2	697056	1302
Селевые потоки гляциального происхождения при прорыве моренного озера								
р. Теректы – с. Малиновка	46,9	14	70,5	74710	0,17	84,9	90012	1302
Селевые потоки гляциального происхождения при прорыве внутриледниковых ёмкостей								
р. Теректы – с. Малиновка	46,9	14	35,2	33740	0,17	42,5	40651	1302

Таблица 7

Расчет характеристик грязекаменного селевого потока по гидропостам на реках Жетысуского Алатау

Водоток	$F, \text{ км}^2$	$L, \text{ км}$	$H, \text{ м}$	Водная составляющая		K_1	K_b	Селевой поток	
				$Q_{\text{водн.1\%}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$W_{\text{водн.1\%}}, \text{ м}^3$			$Q_{\text{селев.1\%}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$W_{\text{селев.1\%}}, \text{ м}^3$
р. Сарканд – г. Сарканд	645	43	2490	277	10 965 000	4,5	2,5	3122	49 342 500
р. Текели – устье р. Черкассай	29,7	9	2080	47	1 397 157	4,5	2,5	529	6 287 207
р. Тамды – с. Каратальское	17,3	12	1600	20	338 924	4,0	2,5	196	1 355 696
р. Теректы – с. Малиновка	46,9	14	1670	37	1 754 430	4,0	2,5	374	7 017 719
Селевые потоки ливневого происхождения									
Селевые потоки гляциального происхождения при прорыве моренного озера									
р. Теректы – с. Малиновка	46,9	14	1670	70,5	74 710	4,0	2,5	705	298 840
Селевые потоки гляциального происхождения при прорыве внутриледниковых ёмкостей									
р. Теректы – с. Малиновка	46,9	14	1670	35,2	33 740	4,0	2,5	352	134 960

$$y = 0,3n + (1 - n)A_{y.зр}, \quad (18)$$

где $A_{y.зр}$ – коэффициент устойчивости грунта к эрозии, определяется по характеристике грунта, приняты равным 2; n – коэффициент, учитывающий обрушение бортов русла, равен 0.5; $\rho_{селя}$ – плотность селя определяется по графику $\rho_{селя} = f\left(\frac{H}{y}\right)$, приведённому в [5].

Расчеты характеристик наносоводного и грязекаменного селевого потока приведены в табл. 6 и 7.

Полученные характеристики селевых потоков можно использовать для проектирования противоселевых сооружений, селезащитных мероприятий и других целей. При этом необходимо выбирать наибольший расход из селя ливневого и гляциального происхождения, учитывая при этом тип селя (наносоводный или грязекаменный).

Расчёт характеристик селевых потоков всегда остаётся сложной задачей, так как ряды наблюдений за селевыми расходами отсутствуют, а существующие методы расчёта параметров селевых потоков требуют дальнейшего совершенствования, особенно расчёты максимальных расходов селей гляциального происхождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болдырев В.М. Региональные эмпирические формулы в гидрологических расчетах. – Алматы: Казак университеті, 1998. – 56 с.
2. Вилесов Е.Н., Морозова В.И., Северский И.В. Оледенение Джунгарского (Жетысу) Алатау: прошлое, настоящее, будущее. – Алматы: 2013. – 244 с.
3. Гальперин Р.И. Нюансы статистической интерпретации гидрологических рядов // Проблемы гидрометеорологии и экологии: Матер. междунаучно-практ. конф. – Алматы: КазНИИМОСК, 2001. – С. 103-105.
4. Практикум по дисциплине «Гидрологические расчеты» (часть 2): Учебное пособие для студентов специальности «Гидрология». – Алматы: Казак университеті, 2001. - 67 с.

5. Рекомендации по проектированию противоселевых защитных сооружений. – М.: Гидропроект, 1985. – 110 с.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Бассейн оз. Балхаш. – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – Т. 13. – Вып. 2. – 643 с.
7. Рождественский А.В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоздат, 1977. – 269 с.
8. СН 435-72. Указания по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоздат, 1972. – 111 с.
9. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. – М.: Стройиздат, 1985. – 36 с.
10. Чигринец Л.Ю. Анализ и расчёт стока наносов горных рек Юго-Восточного Казахстана: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук / КазНУ им. аль-Фараби. – Алматы, 2000. – 24 с.

Поступила 27.05.2013

О.А. Климентьева

Геогр. ғылымд. канд. Л.Ю. Чигринец

ЖЕТІСУ АЛАТАУЫ ТАУЛЫ ӨЗЕНДЕРІНІҢ ЖОҒАРҒЫ АҒЫНДАРЫ ЖӘНЕ СЕЛДІК АҒЫМДАРЫ

Таудағы ең жоғары ағындының ықпалы жөнінде маңызды жергілікті факторлар мен оның қалыптасуы анықталған. 2012 жылға дейінгі барлық бақылау кезеңі қамтылған «Қазгидромет» РМК мәліметтер желісін пайдаланып, нақты мәліметтер бойынша Жетісу Алатауының таулы өзендерінен ең жоғары су өтімдерінен статистикалық сипаттамалары анықталды. В.М. Болдыревтың зерттелмеген өзендерінің көктемгі-жазғы су тасуының ең жоғары су өтімдерін есептеу әдісінің Жетісу Алатауы шарттарына қолдануға жарамдылығы тексерілген. Жетісу Алатауының бірқатар өзендері үшін шығу тегі жаңбырлы және гляциалдық тасынды-сулы және лайлы-тасты, тіпті сел тасқындарының сипаттамалары есептелінген.