

УДК 556.166/167

Канд. геогр. наук Л.Ю. Чигринец^{*}
М.К. Байсакова^{**}

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЁТ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ВОДЫ РЕК КАЗАХСТАНСКОГО АЛТАЯ

ПОЛОВОДЬЕ, ПАВОДОК, РЕДУКЦИЯ, ПЛОЩАДЬ ВОДОСБОРА, СРЕНЕВЗВЕШЕННАЯ ВЫСОТА ВОДОСБОРА, ЭМПИРИЧЕСКАЯ ФОРМУЛА, МНОГОЛЕТНИЕ КОЛЕБАНИЯ, РАЗНОСТНАЯ ИНТЕГРАЛЬНАЯ КРИВАЯ, КРИВАЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ, КОЭФФИЦИЕНТ ВАРИАЦИИ, КОЭФФИЦИЕНТ АСИММЕТРИИ, АМПЛИТУДА ВЫСОТ, СНЕГОЗАПАСЫ, ПЛОЩАДЬ ОДНОВРЕМЕННОГО СНЕГОТАЯНИЯ

Проведены исследования и расчёт максимального стока воды рек Казахстанского Алтая, при наличии, недостаточности и отсутствии данных наблюдений. Исследована возможность применения формулы В.М. Болдырева [1, 2] для расчета максимальных расходов воды весенне-летнего половодья неизученных рек Казахстанского Алтая. С применением ГИС-технологий в программе ArcGIS-10 составлены: схема изученности, тематическая карта максимального стока воды рек и трёхмерная орографическая модель исследуемого региона.

Расчёт максимального стока воды представляет одну из важнейших, и вместе с тем сложных, проблем инженерной гидрологии. Несмотря на большую значимость максимального стока воды, фактических данных наблюдений за этой характеристикой недостаточно. Поэтому большое значение приобретает выявление факторов, влияющих на формирование максимального стока воды, а также разработка и совершенствование методов расчёта его основных характеристик для неизученных рек.

В работе проведены исследования и расчёт максимального стока воды рек Казахстанского Алтая – репрезентативного горного района Республики, богатого водно-энергетическими ресурсами, который относится к Восточно-Казахстанской области. Реки рассматриваемого района принадлежат к

^{*} КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы,

^{**} Институт Географии, г. Алматы

бассейну Верхнего Ертиса (Иртыша) – одной из главных водных артерий Казахстана. Они многоводны, соседствуют с крупными промышленными районами и всё больше вовлекаются в сферу хозяйственной деятельности. Для интенсивного освоения водных ресурсов рассматриваемого региона, их рационального и комплексного использования, для проектирования гидротехнических сооружений, и разработки водохозяйственных мероприятий, необходима надёжная, проверенная методика расчёта характеристик максимального стока воды. Вместе с тем, научные обобщения о максимальном стоке рек данного района немногочисленны [1, 2, 4].

Авторы попытались уточнить характеристики максимального стока воды рек исследуемого региона, с использованием имеющихся материалов фактических наблюдений, а также проверить применимость формулы В.М. Болдырева [1, 2] для расчёта максимальных расходов воды неизученных рек в условиях Казахстанского Алтая.

Выявлены основные факторы и закономерности формирования максимального стока рек Казахстанского Алтая. Вертикальная зональность на рассматриваемой территории является доминирующим фактором и в значительной степени определяет протекание гидрологических процессов, закономерно изменяет природные условия. Для характеристики рельефа с применением ГИС-технологий в программе ArcGIS-10 составлена трёхмерная орографическая модель исследуемого региона, которая приведена на рис. 1.

Реки Казахстанского Алтая характеризуются весенне-летним половодьем. Здесь роль талых вод является главной, и их средняя доля в формировании максимального стока колеблется на различных реках от 55 % до 100 %. Дождевая составляющая на большинстве рек не превышает 20...25 %. Таким образом, одним из важнейших факторов формирования максимальных расходов рек исследуемого региона являются запасы воды в снеге в бассейнах перед началом снеготаяния. Поэтому модули максимального стока воды выше в тех бассейнах, где величина снегозапасов больше [1]. Формирование максимальных расходов воды на реках Горного Алтая зависит от средней высоты водосбора, которая является интегральным показателем гидрологических условий бассейнов. По мере увеличения средневзвешенной высоты водосбора начало половодья смещается на более поздние сроки (с апреля на май). С возрастанием высоты наблюдается увеличение доли стока воды за половодье по отношению к годовому стоку. На реках высокогорных районов формирование стока воды осуществляется преимущественно за счёт талых вод ледников и снежников.

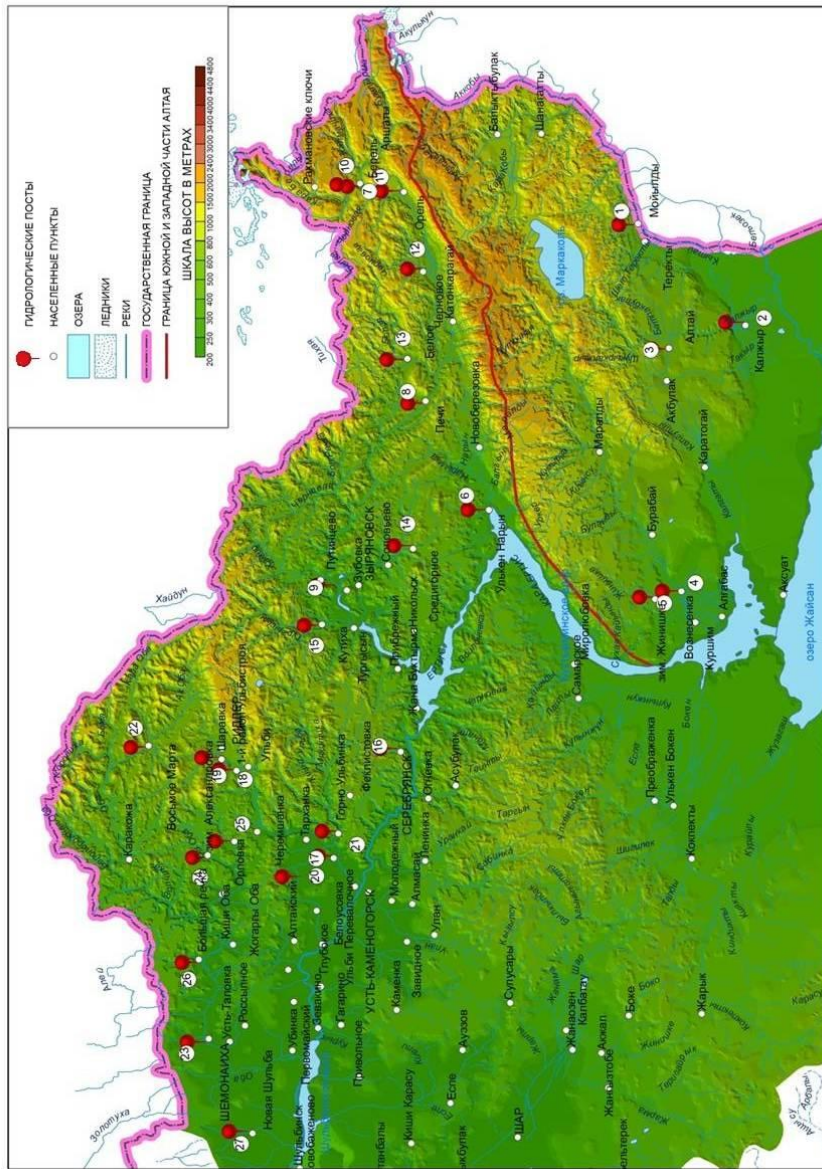


Рис. 1. Трёхмерная орографическая модель исследуемого региона.

Своеобразие формирования максимального стока воды на реках Горного Алтая, в отличие от равнинных, заключается в значительных амплитудах высот. Распределение площади по высоте на водосборе оказывает главное влияние на формирование максимального стока воды горных рек Казахстанского Алтая. Поступление талой воды на водосборах горных рек происходит только на площади одновременного снеготаяния, которая ограничивается фронтом и тылом снеготаяния. Постепенно эта площадь поднимается по водосбору. Площадь одновременного снеготаяния будет тем больше, чем интенсивней приток тепла в бассейн и чем больше снеготаяния. С другой стороны, эта площадь в значительной степени определяется характером гипсографической кривой бассейна, в частности, амплитудой высот в бассейне. Чем меньше амплитуда высот, тем больше площадь одновременного снеготаяния, а, следовательно, и модуль максимального стока воды [1].

Авторы оценили максимальный сток воды по состоянию на 2014 г., провели анализ полноты и качества наблюдений. Выявлено, что на реках рассматриваемого района в общей сложности насчитывается 27 пунктов наблюдений за максимальным стоком воды, которые относятся к сети гидрологических наблюдений РГП «Казгидромет». С применением ГИС-технологий в программе ArcGIS-10 создана карта постов наблюдений за максимальным стоком воды рек Казахстанского Алтая (рис. 2). Главным недостатком исходного материала является небольшое количество пунктов наблюдений на малых и средних реках и их неравномерное размещение по высотным зонам. Ряды максимальных расходов воды для большинства пунктов имеют пропуски в наблюдениях. Данные наблюдений, которые собраны авторами за весь имеющийся период по 2011 г. включительно, послужили исходным материалом для характеристик максимального стока. За исходные данные должны приниматься мгновенные секундные максимальные расходы воды, однако такие сведения нечасто встречаются, поэтому для расчётов используются срочные максимумы.

Продолжительность периодов наблюдений за максимальным стоком воды колеблется от 4 до 78 лет. Наибольшая продолжительность наблюдений имеется по гидропостам р. Кальджыр – а. Кальджыр (с. Черняевка) (72 года), р. Куршим – с. Вознесенка (77 лет), р. Ульби (Ульба) – с. Ульби-Перевалочная (78 лет).

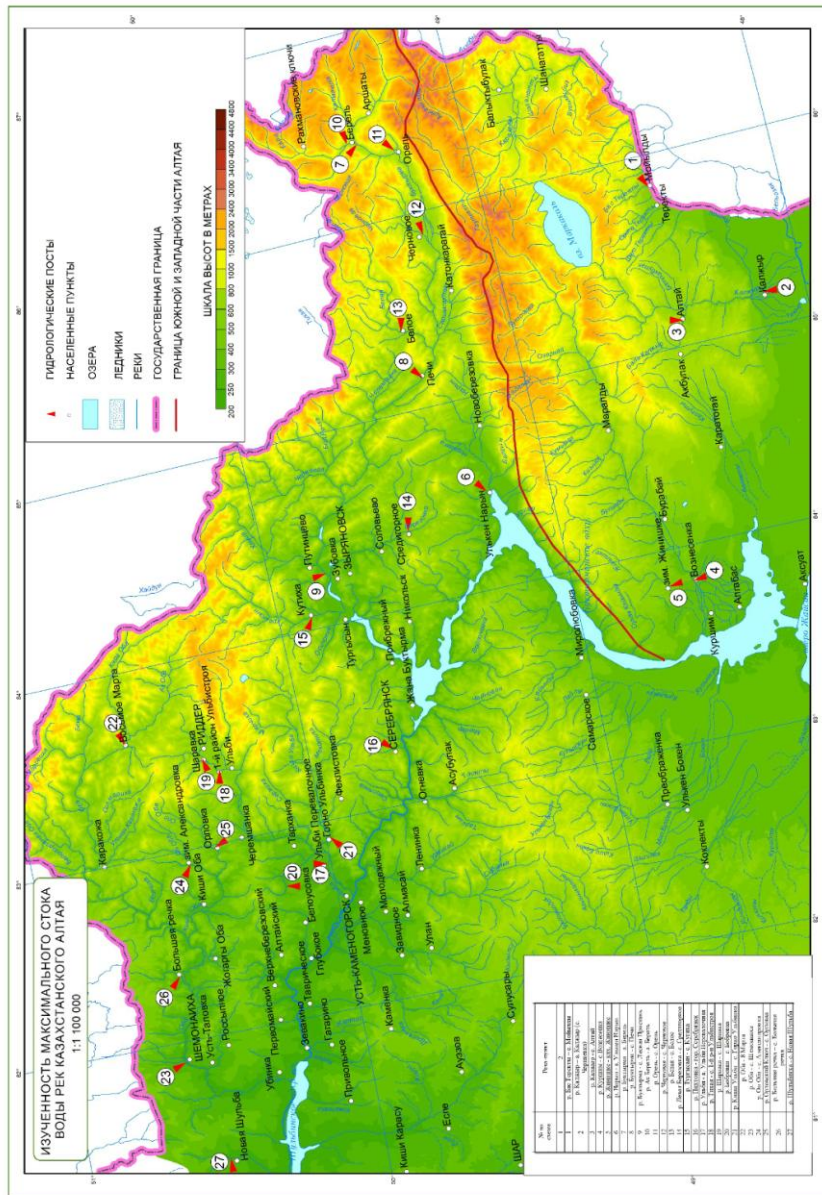
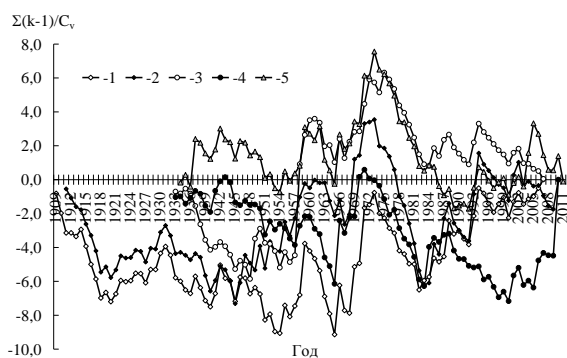


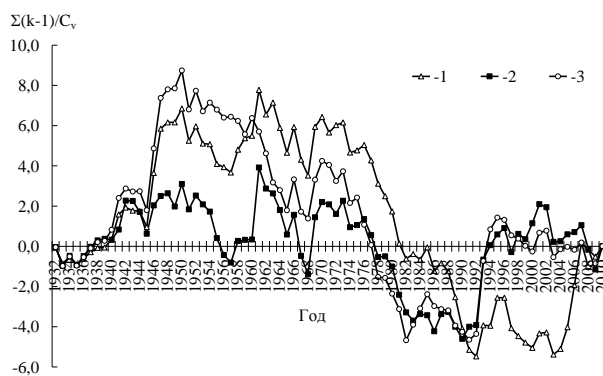
Рис. 2. Карта постов наблюдений за максимальным стоком воды рек Казахстанского Алтая.

Были восстановлены пропуски в рядах наблюдений различными методами (по связям максимальных и среднегодовых расходов воды, по связям максимальных расходов воды рек-аналогов и др.), в некоторых случаях максимальные расходы воды определены экстраполяцией кривых $Q = f(H)$ до максимальных уровней воды. Ряды проверены на однородность по суммарным интегральным кривым и статистическим критериям Фишера, Стьюдента и Вилькоксона. Пункты наблюдений за стоком воды Казахстанской части Алтая находятся в зоне формирования стока, выше водохранилищ, они не подвержены значительному влиянию хозяйственной деятельности, поэтому рассматриваемые ряды в основном однородны.

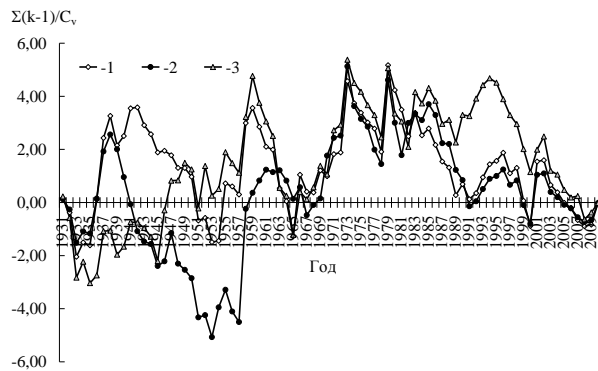
Анализ многолетних колебаний максимального стока воды и выбор репрезентативных периодов для расчета нормы максимального стока воды по различным створам проводился с использованием разностных интегральных кривых модульных коэффициентов максимальных расходов воды (рис. 3).



1 – р. Кальджыр – а. Калжыр (с. Черняевка);
 2 – р. Куршим – с. Вознесенка; 3 – р. Жинишке – клх. Жинишке;
 4 – р. Нарын – а. Улькен Нарын; 5 – р. Бас Теректы – с. Мойылды
 а

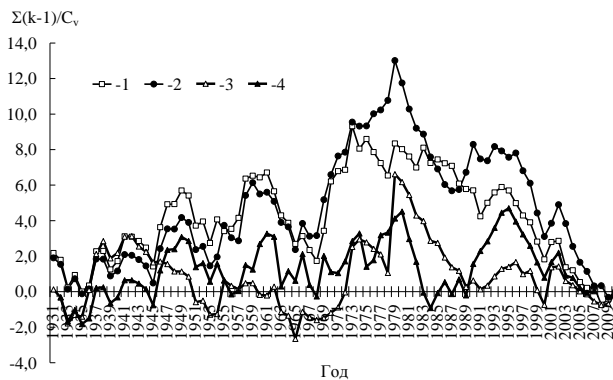


1 – р. Буктырма – а. Берель; 2 – р. Буктырма – с. Печи;
 3 – р. Черновая – с. Черновое
 б



1 – р. Ульби – а. Ульби Перевалочная; 2 – р. Шаравка – с. Шаравка;
3 – р. Киши Ульби – с. Горно Ульбинка

б



1 – р. Оба – 8 марта; 2 – р. Оба – с. Шемонаиха; 3 – р. Он Оба –
с. Александровка; 4 – р. Большая речка – с. Большая речка

в

Рис. 3. Совмещенные разностные интегральные кривые модульных коэффициентов максимальных расходов воды по гидропостам на реках Казахстанского Алтая. а – южная часть, б – западная часть (бассейн р. Буктырмы (Бухтармы)), в – западная часть (бассейн р. Ульби (Ульбы)), г – западная часть (бассейн р. Обы (Убы)).

Учитывая, что связи максимальных расходов воды даже на соседних горных реках зачастую отсутствуют, приведение рядов наблюдений за максимальным стоком к единому расчётному периоду не производилось. Выявлено, что колебания максимальных расходов воды в различных створах не всегда синхронны. Асинхронность в отдельные периоды обусловлена неравномерным выпадением осадков по территории и различием в питании рек [8].

Определены статистические характеристики максимальных расходов воды для изученных рек района, составлена тематическая карта максимального стока воды рек Казахстанского Алтая (рис. 4). Норма максимальных расходов воды рек колеблется от 5,3 м³/с (р. Орловский Ключ – с. Орловка) до 1790 м³/с

(р. Оба – с. Шемонаиха). Коэффициент вариации C_v максимального стока воды находится в диапазоне от 0,13 до 0,47, а коэффициент асимметрии C_s – от 0,02 до 1,4. Построены кривые обеспеченности максимальных расходов воды, по которым определены максимальные расходы воды различной обеспеченности, приведённые в табл. 1. Полученные результаты сопоставлены с данными, опубликованными ранее в «Ресурсах поверхностных вод» [5]. Расхождения составили от 0 до 40 % и более, что объясняется значительным удлинением рядов наблюдений и применением усеченных кривых обеспеченности максимальных расходов воды [3].

Расчёт характеристик максимального стока воды с применением вероятностно-статистических методов может быть использован только для изученных рек, продолжительность наблюдений которых превышает хотя бы 10 лет [6, 7]. Максимальные расходы воды на неизученных и малоизученных реках рассчитываются по региональным эмпирическим и полуэмпирическим формулам [2].

Проведен анализ существующих методов расчета максимальных расходов воды при отсутствии фактических данных наблюдений, и предложены уточнения к ним для рек рассматриваемого района. Множество формул обусловлено научным интересом и практической важностью вопроса, а также сложностью формирования максимального стока воды и недостаточностью материалов наблюдений. Наиболее известны формулы Д.Л. Соколовского, Г.А. Алексеева, А.В. Огиевского, В.Н. Мокляка, М.Ф. Срибного, К.П. Воскресенского, А.Н. Бефани, Н.Н. Чегодаева и др. Редукционные формулы и формулы предельной интенсивности являются однофазовыми, т.е. они освещают только максимальный расход. Объёмные формулы ставят своей задачей учитывать весь ход половодья и его объём.

Одной из главных целей работы являлась апробация формулы В.М. Болдырева [1, 2]. Она разработана на основе формулы В.Л. Шульца, предложенной им для условий Средней Азии:

$$q_{\max} = \frac{A_1 M_0^{0,75}}{F^{0,15}}, \quad (1)$$

где q_{\max} – модуль максимального стока, $\text{дм}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$, M_0 – норма годового стока, $\text{дм}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$; A_1 – коэффициент, определяемый рельефом водосбора, состоянием его поверхности, характером почв, озёрностью и прочими факторами, влияющими на величину потерь талых вод и на время добегания, F – площадь водосбора, км^2 .

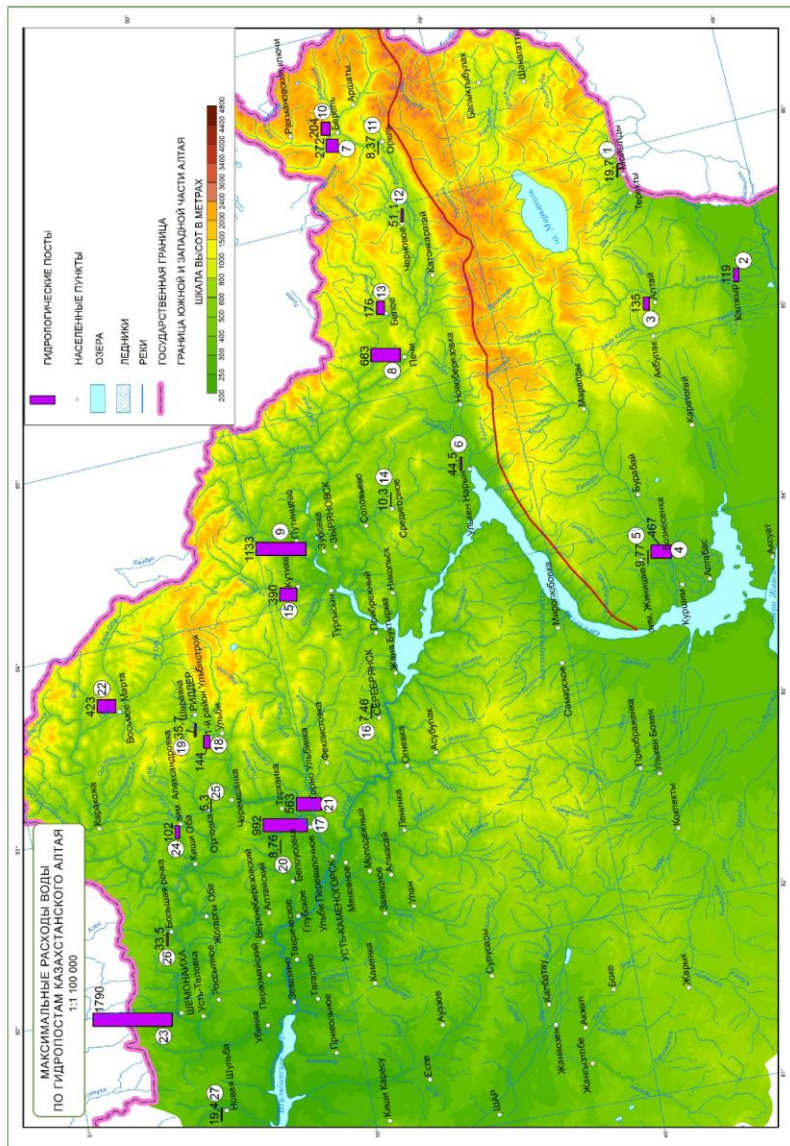


Рис. 4. Карта максимального стока воды рек Казахстанского Алтая.

Таблица 1
 Максимальные расходы воды различной обеспеченности, рассчитанные для рек Казахстанского Алтая по фактическим данным

Источник	Расчётный период (с учетом восстановленного)	Число лет	q_0	C_v	C_s	Максимальные расходы воды различной обеспеченности					
						0,1 %	1 %	2 %	5 %	10 %	25 %
2. р. Калдыжыр – а. Калжыр (с. Черняевка)											
рассчитанные	1909...2007	99	119	0,44	1,14	390	300	275	232	200	174
«Ресурсы ...»	1911...1916, 1937...1966	36	119	0,51	1,6	-	327	288	238	200	146
отклонения в %	-	-	0	-13,7	-28,8	-	-8,26	-4,51	-2,52	0	19,2
4. р. Куршим – с. Вознесенка											
рассчитанные	1911...2011	101	467	0,39	0,10	1440	1100	1000	820	721	583
«Ресурсы ...»	1911...1916, 1935, 1938...1945, 1948...1966	34	463	0,34	0,1	-	842	796	727	667	565
отклонения в %	-	-	0,86	14,7	0,00	-	30,6	25,6	12,8	8,10	3,19
5. р. Жинишке – клх. Жинишке											
рассчитанные	1933...2007	75	9,77	0,41	1,20	80	41,0	32,1	18,0	15,1	11,9
«Ресурсы ...»	1935, 1937...1940, 1947...1949, 1952, 1954, 1955, 1958...1960, 1963...1966	18	12	0,92	2,3	-	53,2	44,8	34,2	25,9	15,5
отклонения в %	-	-	-18,6	-55,4	-47,8	-	-22,9	-28,3	-47,4	-41,7	-23,2
6. р. Нарын – а. Улькен Нарын											
рассчитанные	1933...2011	79	44,5	0,47	1,35	149	112	101	84,9	72,5	55,1
«Ресурсы ...»	1955...1966	12	45,0	0,51	1,8	-	137	121	97,6	80	56,2
отклонения в %	-	-	-1,11	-7,84	-25,0	-	-18,2	-16,5	-13,0	-9,38	-1,96

Источник	Расчётный период (с учетом восстановленного)	Число лет	q_0	C_v	C_s	Максимальные расходы воды различной обеспеченности					
						0,1 %	1 %	2 %	5 %	10 %	25 %
7. р. Буктырма (Бухтарма) – а. Берель											
рассчитанные	1932...2011	80	272	0,30	0,90	630	514	483	424	382	320
«Ресурсы ...»	1958...1966	9	249	0,31	1,5	-	505	460	400	350	286
отклонения в %	-	-	9,24	-3,23	-40,0	-	1,78	5,00	6,00	9,14	11,9
8. р. Буктырма – с. Печи											
рассчитанные	1932...2011	80	663	0,25	0,08	1880	1425	1295	1020	876	775
«Ресурсы ...»	1940...1966	27	668	0,33	1,4	-	1380	1270	1100	895	775
отклонения в %	-	-	-0,75	-24,2	-94,3	-	3,26	1,97	-7,27	-2,12	0,00
9. р. Буктырма – с. Лесная Пристань											
рассчитанные	1954...2011	58	1133	0,13	0,53	1702	1531	1495	1395	1327	1226
«Ресурсы ...»	1954...1965	12	1370	0,28	1,2	-	2580	2370	2110	1890	1580
отклонения в %	-	-	-17,3	-53,6	-55,8	-	-40,7	-36,9	-33,9	-29,8	-22,4
12. р. Черновая – с. Черновое											
рассчитанные	1932...2010	79	51,1	0,39	0,33	169	124	110	90	75	62,9
«Ресурсы ...»	1954...1966	13	46,0	0,39	1,4	-	104	94,8	81	70	54
отклонения в %	-	-	11,1	0,00	-76,4	-	19,2	16,0	11,1	7,14	16,5
13. р. Белая – с. Белое											
рассчитанные	1932...2011	80	176	0,30	0,63	382	318	295	266	237	207
«Ресурсы ...»	1954...1966	13	164	0,30	0,6	-	298	278	252	229	193
отклонения в %	-	-	7,32	0,00	5,00	-	6,71	6,12	5,56	3,49	7,25
14. р. Левая Березовка – с. Средигорное											
рассчитанные	1933...2011	79	10,3	0,51	0,93	33,6	26,0	23,1	20,1	17,3	13,4
«Ресурсы ...»	1948...1957, 1959...1966	18	8,9	0,45	1,1	-	21	19,2	16,5	14,2	11
отклонения в %	-	-	15,7	13,3	-15,5	-	23,8	20,3	21,8	21,8	21,8

Источник	Расчётный период (с учетом восстановленного)	Число лет	q_0	C_v	C_s	Максимальные расходы воды различной обеспеченности					
						0,1 %	1 %	2 %	5 %	10 %	25 %
15. р. Тургысын – с. Кутиха											
рассчитанные	1927...2011	85	390	0,35	1,03	1008	802	748	647	573	468
«Ресурсы ...»	1927...1932, 1949...1947, 1959...1966	23	437	0,39	1,40	-	992	900	770	665	520
отклонения в %	-	-	-10,8	-10,3	-26,4	-	-19,2	-16,9	-16,0	-13,8	-10,0
17. р. Ульби (Ульба) – а. Ульби Перевалочная											
рассчитанные	1931...2011	81	992	0,74	1,40	3365	2516	2250	1896	1617	1215
«Ресурсы ...»	1931...1939, 1942...1966	34	973	0,46	1,30	-	2400	2160	1840	1580	1200
отклонения в %	-	-	1,95	60,9	7,69	-	4,83	4,17	3,04	2,34	1,25
19. р. Шаравка – с. Шаравка											
рассчитанные	1931...2010	80	35,7	0,36	1,03	143	97,8	83,1	62,0	51,4	42,3
«Ресурсы ...»	1939...1951, 1953...1966	27	34,5	0,48	1,3	-	87,6	78,6	66,5	56,6	42,7
отклонения в %	-	-	3,48	-25,0	-20,8	-	11,6	5,73	-6,77	-9,19	-0,94
21. р. Киши Ульби – с. Горно Ульбинка											
рассчитанные	1931...2010	80	563	0,37	0,57	1537	1207	1122	957	843	678
«Ресурсы ...»	1931...1933, 1952...1966	18	584	0,50	0,90	-	1450	1310	1130	975	748
отклонения в %	-	-	-3,60	-26,0	-36,7	-	-16,8	-14,4	-15,3	-13,5	-9,36
24. р. Он Оба (Уба) – с. Александровка											
рассчитанные	1931...2010	80	102	0,32	1,13	490	285	234	161	140	117
«Ресурсы ...»	1956...1966	11	92,2	0,34	0,5	-	176	164	148	134	112
отклонения в %	-	-	10,6	-5,88	126	-	61,9	42,7	8,78	4,48	4,46
25. р. Орловский Ключ – с. Орловка											
рассчитанные	1931...2010	80	5,3	0,33	0,25	12,3	10,1	9,32	8,13	7,41	5,95
«Ресурсы ...»	1948...1966	19	5,9	0,41	1,3	-	13,7	12,5	10,6	9	7,2
отклонения в %	-	-	-10,2	-19,5	-80,8	-	-26,3	-25,4	-23,3	-17,7	-17,4

В.М. Болдырев, анализируя формулу В.Л. Шульца, заменил площадь водосбора (F) на параметр $A_p = H_{20\%} - H_{80\%}$, где $H_{20\%}$ и $H_{80\%}$ – ординаты гипсографической кривой бассейна, обеспеченные на 80 % и 20 % (восьмая и вторая децили), что заметно улучшило точность формулы В.Л. Шульца.

Болдырев предложил структуру эмпирической формулы для расчёта максимальных расходов воды преимущественно талого происхождения, основанную на учёте двух основных факторов: максимальных снегозапасов, которые косвенно учитываются через среднюю взвешенную высоту водосбора ($H_{cp.}$), и неодновременности снеготаяния по амплитуде высот внутри водосборов (учитывается расчётной амплитудой высот A_p). Формула имеет вид:

$$q_{\max} = B \left(\frac{H_{cp.}}{A_p} \right)^m, \quad (2)$$

где B и m – региональные параметры.

Неучастие в расчётной формуле площади водосбора В.М. Болдырев объясняет тем, что в горных районах её влияние подавляется средней высотой водосбора и расчётной амплитудой высот водосбора. Преимущество данной формулы перед другими заключается в том, что в неё не входят данные о весеннем половодье, что очень важно для неизученных рек. Для расчёта модуля максимального стока воды по этой формуле требуется лишь картографический материал.

Болдыревым вся территория Горного Алтая, с включением Российской части, по условиям формирования максимальных расходов воды разделена на три больших гидрологических района. Основанием для этого послужили зависимости $\lg q_{1\%} = f(\lg F)$, где $q_{1\%}$ – модуль максимального стока воды 1 % обеспеченности, $\text{дм}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$. Согласно районированию В.М. Болдырева, часть рек Казахстанского Алтая относится к I району, часть ко II району и часть к III району (табл. 2). Значения параметров B и m различной обеспеченности в формуле (2) приведены в табл. 2.

Максимальные расходы воды были рассчитаны авторами по 27 пунктам наблюдений за максимальным стоком воды на реках Казахстанского Алтая по формуле (2) В.М. Болдырева и сопоставлены с фактическими данными. Формула дала удовлетворительные результаты. Для рек первого района ошибки расчёта максимальных расходов воды не

превышают 20,4 %, для рек второго района – 20,4 %, для рек третьего района – 24,4 %. В целом данную формулу можно использовать в качестве расчётной для максимального стока воды рек Казахстанского Алтая, но она требует предварительного анализа и уточнения на более обширном фактическом материале.

Таблица 2

Значения параметров B и m в формуле (2) [1, 2]

Район	B				m			
	$q_{0,1\%}$	$q_{1\%}$	$q_{5\%}$	\bar{q}	$q_{0,1\%}$	$q_{1\%}$	$q_{5\%}$	\bar{q}
I	513	416	330	204	0,60	0,60	0,60	0,61
II	132	110	83,0	56,4	1,1	1,1	1,2	1,0
III	63	48	31,7	20	0,73	0,75	0,93	0,77

Полученные характеристики максимального стока воды горных рек Казахстанского Алтая, выявленные закономерности и выводы могут быть применены при исследованиях и расчетах характеристик рек рассматриваемой территории. Они могут быть также полезны при аналогичных исследованиях по другим горным районам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болдырев В.М. Исследование и расчёт стока горных рек Казахстана: Автореф. дис. ... доктор геогр. наук / КазНУ им. аль-Фараби. – Алматы, 1995. – 27 с.
2. Болдырев В.М. Региональные эмпирические формулы в гидрологических расчетах. – Алматы: Казак университеті, 1998. – 56 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. Мазур Л.П., Сагынғали З.К. Формирование и расчёт максимальных расходов воды рек Казахстанского Алтая // Вестник КазНУ, сер. географ. – 2004. – №1(18). – С. 87-92.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР, Т. 15. Вып.1. – Л.: Гидрометеоиздат, 1969. – 317 с.
6. СНиП 2.01.14-83. Определение расчётных гидрологических характеристик. – М.: Стройиздат, 1985. – 36 с.
7. СП 33-101-2003. Определение основных расчётных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой, 2004. – 70 с.

8. 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 03.06.2014

Геогр. ғылымд. канд. Л.Ю. Чигринец
М.К. Байсакова

ҚАЗАҚСТАН АЛТАЙ ӨЗЕНДЕРІНІҢ ЕҢ ЖОҒАРҒЫ СУ ӨТІМІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ЕСЕПТЕУ

Жеткілікті, жеткіліксіз және ақпарат жоқ болған жағдайда Қазақстан Алтайындағы өзендерінің ең жоғары су өтімдерінің есептелген. В.М. Болдыревтың [1, 2] зерттелмеген өзендерінің көктемгі-жазғы су тасуының ең жоғары су өтімдерін есептеу әдісінің Қазақстан Алтайындағы шарттарына қолдануға жарамдылығы тексерілген. ArcGIS-10 бағдарламада – ГИС-технологияларын қолдануымен келесі параметірлер жасылған: зертелу сұлбасы, өзендерінің ең жоғары су өтімдерінің тематикалық картасы және зерттелетін аймақтың үш өлшемді орографиялық үлгі.