

**\*<sup>1</sup>Чигринец А.Г., <sup>1</sup>Чигринец Л.Ю., <sup>2</sup>Мазур Л.П.**

<sup>1</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Республика Казахстан, г. Алматы

<sup>2</sup>Центрально-Азиатский университет, Республика Казахстан, г. Алматы

e-mail: ch.al.georg@mail.ru

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА Р. ТЕРИСБУТАК**

Выявлены основные особенности водного режима и закономерности формирования максимального стока малых горных рек, не имеющих ледникового питания, в условиях северного склона Илейского Алатау. Работа выполнена на примере р. Терисбутак, типичной для малых рек района исследования. Проанализированы имеющиеся материалы многолетних наблюдений за максимальными расходами воды, стоком весеннего половодья. Определены количественные характеристики максимальных срочных и среднесуточных расходов воды, объемов стока за половодье, получены расчетные гидрографы половодья. Исследованы причины возникновения селевых потоков, рассчитаны максимальные расходы и плотность селевой массы наносоводных и грязекаменных селевых потоков, образование которых возможно на р. Терисбутак.

**Ключевые слова:** горная река, водный режим, гидрологический пост, максимальный расход воды, сток весеннего половодья, статистические методы обработки информации, расчетный гидрограф половодья, максимальный расход селея.

**<sup>1</sup>Чигринец А.Г., <sup>1</sup>Чигринец Л.Ю., <sup>2</sup>Мазур Л.П.**

<sup>1</sup>Ал-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.,

<sup>2</sup>Орта Азия университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.,

e-mail: ch.al.georg@mail.ru

### **Терісбұтақ өзенінің ең жоғары ағындысының қалыптасу ерекшеліктері және оны есептеу**

Іле Алатауының солтүстік беткейі жағдайында, мұздықтан қоректенбейтін, таулы өзендердің ең жоғары ағындысының қалыптасу заңдылықтары мен су режимінің негізгі ерекшеліктері анықталған. Жұмыс зерттеу ауданының кіші өзендеріне сәйкес келетін Терісбұтақ өзені мысалында орындалды. Ең жоғары су өтімдері, көктемгі су тасу ағындысы бойынша көпжылдық бақылау мәліметтері талданды. Ең жоғары лездік және орташа тәуліктік су өтімдерінің сандық сипаттамалары, су тасу кезінде су көлемі, су тасудың есептік гидрографтары анықталды. Сел тасқындардың пайда болу себептері зерттелді, Терісбұтақ өзенінде қалыптасуы мүмкін тасынды және лайлы-тасты сел тасқындарының тығыздығы, ең жоғары су өтімдері есептелінді.

**Түйін сөздер:** таулы өзен, су режимі, гидрологиялық бекет, ең жоғары су өтімдері, көктемгі су тасу ағындысы, ақпараттарды статистикалық өңдеу әдістері, су тасудың есептік гидрографы, селдің ең жоғары өтімі.

<sup>1</sup>Chigrinets A.G., <sup>1</sup>Chigrinets L.Y., <sup>2</sup>Mazur L.P.

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh national university, Kazakhstan, Almaty

<sup>2</sup>Central Asian University, Kazakhstan, Almaty

e-mail: ch.al.georg@mail.ru

### **Peculiarities of formation and calculation of maximum runoff for Terisbutak river**

There have been figured out the main peculiarities of water regimes and tendencies in maximum water runoff formation within small mountain rivers that are not supplied with glacial sustention in conditions of the northern slope of Ile Alatau. The work has been accomplished on the example of Terisbutak

River, which is a typical representation of small rivers in the researched area. There have been analyses the materials of long-term observations over maximum water consumption and spring inundation runoff.

There have been defined the quantitative characteristics of maximum urgent and average daily water duties, volumes of runoff in the period of inundation, and calculation hydrographs of inundation have been obtained. The reasons of mud stream uprising have been researched, and also there have been calculated the maximum duties and density of mudflow mass for water-sedimentary and mud-stone streams that have the possibility to origin within Terisbutak river.

**Key words:** Mountain River, water regimes, hydrological station, maximum water duty, spring inundation runoff, statistical methods of data processing, inundation calculating hydrograph, maximum mudflows duty.

### Введение

Существенные изменения в политической, социальной сферах, развитие рыночной экономики способствуют увеличению интенсивности освоения горных территорий для различных целей. Хозяйственная деятельность, развитие горного туризма, различных сфер рекреации и ряда других направлений приводит к значительному увеличению водопотребления и усилению эрозионной деятельности водотоков.

В этих условиях для рационального, комплексного и безопасного использования водных ресурсов, охраны горных рек и территорий необходимо детальное изучение режима рек и всех гидрологических характеристик. Особого внимания при этом заслуживают такие опасные явления, как максимальный сток рек, селевые потоки, водно-эрозионная опасность. Исследования максимального стока произведены на примере р. Терисбутак, которая является типичной малой горной рекой, как по условиям формирования стока, так и по интенсивности хозяйственного освоения горных территорий Юго-Восточного Казахстана. Исследованы условия формирования максимального стока, приведены характеристики половодья, применены методы расчета максимальных расходов при наличии и отсутствии данных наблюдений. Исследования связаны с оценкой степени водно-эрозионной опасности горных и предгорных территорий Юго-Восточного Казахстана с учетом влияния природных и антропогенных факторов.

### Район исследования

Районом исследований являются бассейны рек северного склона Илейского Алатау, относящиеся к бассейну озера Балкаш. Прежде всего рассматривается бассейн реки Улькен Алматы. Река Улькен Алматы принимает свыше 30 притоков (Гидрологическая изученность, 1967, 61). Подробная характеристик района исследования приведена в исследованиях (Чигринец Л.Ю., 2001; Чигринец А.Г., 2007; Чигринец А.Г., Мазур

Л.П., Загидуллина А.Р., 2012, 2015). Исследования проведены на примере бассейна р. Терисбутак.

*Река Терисбутак* – это последний значительный приток Улькен Алматы в горной части бассейна, впадающий в реку справа. Берет начало на северном склоне хребта Илейский Алатау на высоте 3300 м над уровнем моря. Длина реки 11 км, а площадь водосбора 32,3 км<sup>2</sup>. В р. Терисбутак впадает ряд притоков, общей длиной 25 км, наиболее крупным из которых по водности является р. Казашка, с площадью водосбора 15 км<sup>2</sup>. Средняя высота водосбора р. Терисбутак в створе гидрологического поста р. Терисбутак-устье составляет 2250 м. абс. Средний уклон водосбора – 519 ‰. (Основные гидрологические характеристики, 1967: 38). Уклоны поверхности в районе предполагаемого хозяйственного освоения незначительные, в среднем они составляют 119 ‰. Долина реки трогообразная, склоны крутые. Река Терисбутак впадает в р. Улькен Алматы на 71 км от устья.

### Исходные данные и методы исследования.

Гидрологический режим, сток воды многочисленных малых рек, ручьев и временных водотоков в горных условиях, как правило, очень слабо освещены данными наблюдений или не изучены совсем. Большинство неизученных водосборов находится в зоне средних высот от 1000 до 3000 м, а имеющиеся гидрометрические створы расположены на значительных водотоках 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, замыкаемых створами в местах предполагаемого хозяйственного освоения, гидрометеорологические наблюдения, как правило, полностью отсутствуют. Поэтому все гидрологические характеристики для расчетных створов получены с применением методов гидрологической аналогии, картометри-

ческих определений, интерполяции, экстраполяции, математической статистики.

В работе были использованы данные наблюдений, проводившихся на гидрологических постах РГП «Казгидромет» в бассейне р. Улькен Алматы, и прежде всего данные гидропоста р. Терисбутак-устье (Основные гидрологические характеристики, 1967; Ресурсы поверхностных вод СССР. Бассейн оз. Балхаш, 1970; Многолетние данные, 2006; Ежегодные данные, 2001-2015). Используются опубликованные материалы наблюдений на стационарной сети метеостанций и гидрологических постов РГП «Казгидромет», материалы специальных полевых геодезических и гидрометрических исследований, проведенных в 2013 г. сотрудниками ПК «Казгипроводхоз».

Для проектирования и эксплуатации водозаборных и других сооружений, при освоении горных водосборов необходимы сведения о режиме максимальных расходов, параметрах возможных селевых потоков, а также твердом стоке рек. Это важно для устойчивого функционирования гидротехнических сооружений и их сохранности.

**Водный режим.** Основными факторами формирования стока воды рек являются прежде всего рельеф, климатические условия, геологические, гидрогеологические и другие особенности речных бассейнов. С изменением абсолютной высоты местности меняются климатические характеристики и факторы подстилающей поверхности, а, исходя из этого, и условия питания рек. Если в высокогорных районах в питании рек наиболее существенную роль играет современное оледенение, то в среднегорном и низкогорном поясах значительно возрастает роль сезонного снежного покрова, жидких осадков и грунтовых (подземных) вод.

Река Терисбутак по условиям питания и режиму стока относится к рекам с весенне-летним половодьем и паводками в летнее время года. Весенне-летнее половодье и паводки в теплое время года свойственны рекам в основном среднегорного пояса Илейского Алатау. Начало половодья и окончание его спада зависят от его высотного положения, от характера распределения снежного покрова, наличия снежников и климатических условий конкретного года.

В питании реки Терисбутак участвуют сезонные снеговые талые воды, жидкие осадки, а также выклинивающиеся подземные воды. Поверхностный сток в меженный период формируется преимущественно за счет подземных вод.

Начало половодья на р. Терисбутак приурочено к периоду с марта по май: самая ранняя дата – 7 марта, поздняя – 15 мая, а средняя за период с 1947 по 2015 г. – 6 апреля. Окончание половодья в различные годы значительно колеблется: самая ранняя дата окончания – 12 июня, поздняя – 11 ноября, а средняя за период наблюдений – 3 августа. Период наступления максимума половодья также сильно варьирует во времени: ранняя дата – 16 апреля, поздняя дата – 19 июля, а средняя за период наблюдений – 25 мая. Средняя продолжительность половодья составляет 121 день, минимальная – 66, а максимальная продолжительность – 204 дня.

Половодью характерно прохождение нескольких пиков (до 7-8), что обусловлено неодновременностью снеготаяния в бассейне по высотным зонам, а также выпадением (наложением) атмосферных осадков в период половодья. Пик половодья часто имеет смешанное происхождение. Периоду спада половодья характерно наличие дождевых паводков.

Необходимо отметить, что в последние годы отмечается увеличение продолжительности сроков прохождения половодья, что обусловлено, прежде всего, увеличением сумм атмосферных осадков.

**Максимальный сток.** Определение максимального стока горных рек представляет особо трудную задачу, что обусловлено слабой гидрометеорологической изученностью горных водосборов, методическими и техническими трудностями измерений расходов воды в горных условиях, а также рядом специфических особенностей формирования максимальных расходов воды, таких как:

- более резкая изменчивость комплекса физико-географических факторов в пространстве и во времени, которая обусловлена вертикальной и экспозиционной дифференциацией подстилающей поверхности, а также интенсивностью и неустойчивостью атмосферных процессов;
- неоднородность и неодновременность снеготаяния в горных условиях по высотным зонам, обусловленная вертикальной протяженностью горных водосборов;
- особые гидравлические условия в русле, деформация русла и неустойчивость зависимости между расходами и уровнями воды;
- перерастание выдающихся водных паводков в селевые потоки;
- многопиковая форма половодья и зачастую смешанный генезис максимальных расходов воды, обуславливающие слабую связь между максимальными расходами и объемами половодья и др.

Все вышеперечисленные выше факторы (Чигринец А.Г., 2006) характерны и для р. Терисбутак.

Максимальные расходы воды реки Терисбутак формируются тальми снеговыми, а также ливневыми водами, но чаще всего они имеют смешанное происхождение. Могут наблюдаться дождевые максимумы.

Характерна возможность перерастания максимальных расходов воды в селевые, что имело место в 2003 г. и другие годы.

Такие условия формирования максимумов присущи для рек со средними высотами водосборов в пределах от 1500 до 3200 м БС, не имеющих ледникового питания.

Вследствие сложности условий формирования, расчленения стока воды по источникам питания реки, а также из-за того, что максимальные расходы воды здесь в основном смешанного происхождения, в основы расчета характеристик максимального стока приняты наибольшие за год расходы воды, независимо от их происхождения. Аналогичное решение содержится в ряде работ, например, в (Ресурсы поверхностных вод СССР. Бассейн оз. Балхаш, 1970).

Прежде всего расчёты характеристик максимальных расходов воды произведены по гидропосту РГП «Казгидромет» р. Терисбутак – устье. Исходными данными для выполнения расчетов послужили материалы наблюдений по этому гидропосту за период 1947-2015 гг. включительно. Срочные максимальные расходы воды, о чем сказано выше, обычно больше среднесуточных. Отношение срочных и среднесуточных максимальных расходов воды составляет для р. Терисбутак – устье в среднем 1,66, максимальное значение 5,9 (1988 г.), а минимальное 1,0 (1961, 2009 гг.).

По данным (Чигринец А.Г., 2006) для исследуемого района отношение срочных к среднесуточным для малых рек зависит от площади водосбора. Это отношение для рек с площадями до 10 км<sup>2</sup> составляет в среднем 3-3,5, а для площадей 10-100 км<sup>2</sup> находится в пределах от 1,5 до 2.

Исходные данные о максимальных срочных и среднесуточных расходах воды проверены на однородность с применением интегральной кривой (рисунок 1) и оценены на репрезентативность по разностной интегральной кривой модульных коэффициентов максимальных расходов воды (рисунок 2).

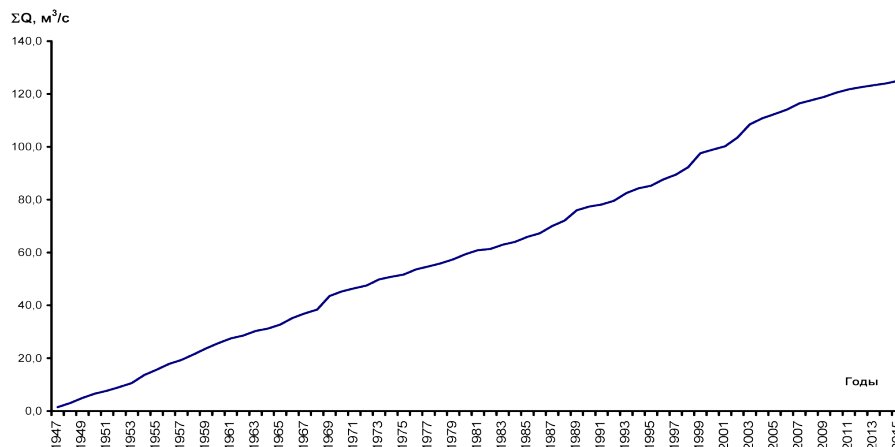


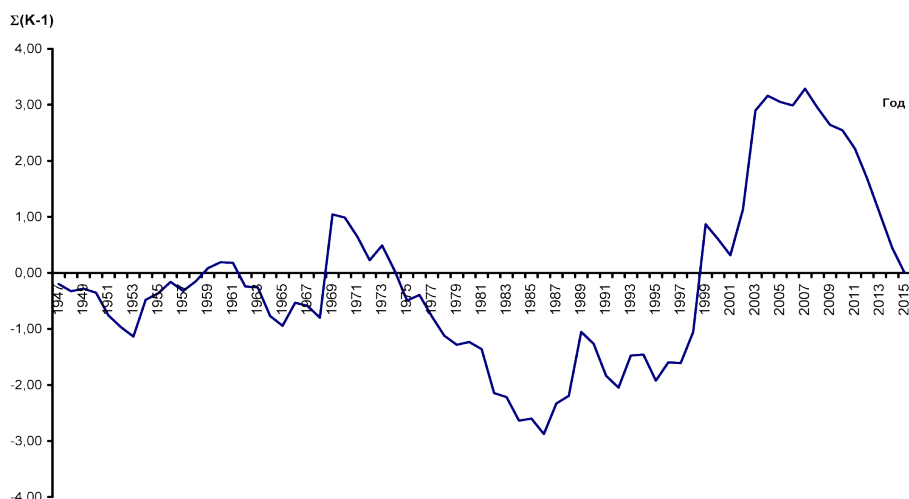
Рисунок 1 – Интегральная кривая максимальных среднесуточных расходов воды по р. Терисбутак – устье, 1947 – 2015 гг.

Ряды срочных и среднесуточных максимальных расходов воды, принятые для расчета однородны и репрезентативны.

Перед этими оценками предварительно произведен анализ имеющихся данных наблюдений за максимальными расходами воды и восстановлен пропуск в наблюдениях за 2003 г. путем расчета расхода воды по формуле предельной интенсивности стока, адаптированной для данного района, для рек, имеющих площади водосбора менее 100

км<sup>2</sup>, " приведенной в (Ресурсы поверхностных вод СССР. Бассейн оз. Балхаш, 1970), с применением данных о фактических выпавших осадках по метеостанции Верхний Горельник. На 26 июля 2003 года получен максимальный срочный расход воды, равный 18,7 м³/с.

Как отмечено выше, для р. Терисбутак характерна возможность перерастания выдающихся водных паводков в селевые потоки, что и произошло 26 июля 2003 года.



**Рисунок 2** – Разностная интегральная кривая модульных коэффициентов максимальных среднесуточных расходов воды р. Терисбутак – устье, 1947-2015 гг.

Учет селевых расходов в общем ряду наблюдений за максимальными расходами приводит к значительному увеличению параметров максимального стока, вызывает неоднородность ряда. Поэтому максимальный расход селя, который прошёл в 2003 году со значением максимального расхода в  $25,3 \text{ м}^3/\text{с}$ , в ряду наблюдений за максимальными расходами воды заменен его водной составляющей ( $18,3 \text{ м}^3/\text{с}$ ), по требованиям генезиса.

После анализа ряда максимальных расходов воды построены кривые обеспеченности максимальных срочных и среднесуточных

расходов воды за весь период наблюдений. Полученные максимальные расходы воды различной обеспеченности приведены в таблице 1.

**Объём стока за половодье.** Помимо максимальных расходов воды различной обеспеченности, для характеристики половодья были определены объёмы стока за половодье и построена кривая обеспеченности (рисунок 3), с помощью которой получены значения объёмов стока за половодье различной обеспеченности.

Результаты расчетов объёмов стока за половодье приведены в таблице 2.

**Таблица 1** – Максимальные срочные и среднесуточные расходы воды различной обеспеченности по гидропостам р. Терисбутак – устье, р. Терисбутак – расчетный створ №1 и р. Казашка – расчетный створ №2, 1947-2015 гг.

Характеристика	$Q_{\text{ср.мн.}}$ м <sup>3</sup> /с.	$Q_0$ , м <sup>3</sup> /с	$C_v$	$C_s$	Расходы воды различной обеспеченности, м <sup>3</sup> /с					
					0,1%	1%	2%	5%	10%	25%
р. Терисбутак – устье										
$Q_{\text{мах.срочн.}}$	3,33	3,33	0,58	5,2/1,6*	55,0	28,0	21,5	10,0	5,01	3,62
$Q_{\text{мах.ср.суточн.}}$	1,87	1,87	0,51	2,00	9,00	6,00	5,30	4,00	3,10	2,15
р. Терисбутак – расчетный створ №1										
$Q_{\text{мах.срочн.}}$	0,51	0,51			8,50	4,33	3,32	1,55	0,77	0,56
$Q_{\text{мах.ср.суточн.}}$	0,29	0,29			1,39	0,93	0,82	0,62	0,48	0,33
р. Казашка – расчетный створ №2										
$Q_{\text{мах.срочн.}}$	1,72	1,72			28,44	14,48	11,12	5,17	2,59	1,87
$Q_{\text{мах.ср.суточн.}}$	0,97	0,97			4,65	3,10	2,74	2,07	1,60	1,11
<i>Примечание: * – в числителе – для усеченной части кривой обеспеченности в пределах от 0 до 10 %, а в знаменателе – для остальной части</i>										



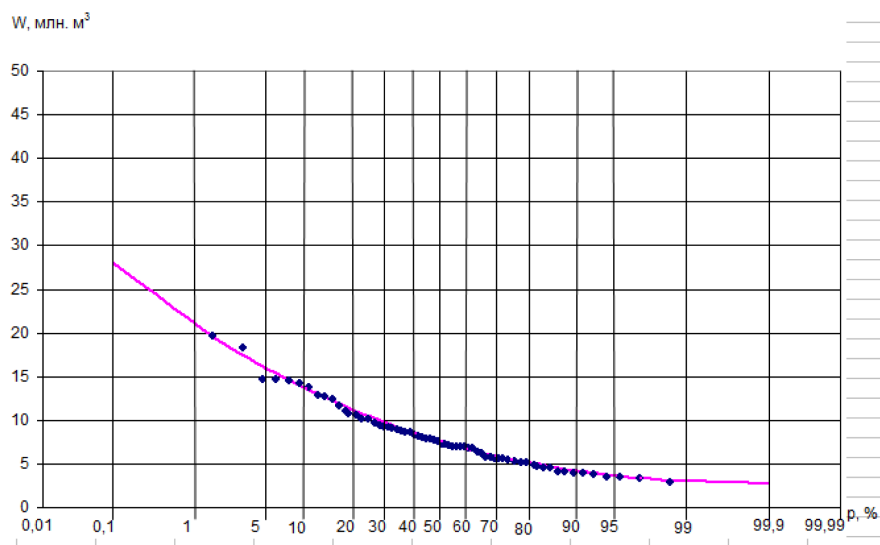


Рисунок 3 – Кривая обеспеченности объемов стока за половодье р. Терисбутак – устье, 1947-2015 гг.

Таблица 2 – Объемы стока за половодье различной обеспеченности по гидропостам р. Терисбутак – устье, р. Терисбутак – расчетный створ №1 и р. Казашка – расчетный створ №2, 1947-2015 гг.

Характеристика	$W_{\text{ср.зн.}}$ млн.м <sup>3</sup>	$W_{0,3}$ млн.м <sup>3</sup>	Cv	Cs	Объемы стока воды различной обеспеченности, млн.м <sup>3</sup>					
					0,1%	1%	2%	5%	10%	25%
р. Терисбутак – устье										
Объем половодья	8,08	8,35	0,47	1,34	28,0	21,0	19,3	15,9	13,6	10,4
р. Терисбутак – расчетный створ №1										
Объем половодья	1,25	1,29			4,33	3,25	2,98	2,46	2,10	1,61
р. Казашка – расчетный створ №2										
Объем половодья	4,18	4,32			14,5	10,9	9,98	8,22	7,03	5,38

**Расчетные гидрографы половодья.** Для учета аккумуляции воды и определения степени трансформации расчетного максимального расхода при прохождении паводка необходимо знать не только расчетный максимальный расход, но и расчетный гидрограф.

Имея гидрограф притока, неблагоприятный для работы сооружения или обычный, можно определить аккумулирующую ёмкость водохранилища, трансформацию расчетного гидрографа, спланировать работу сооружения.

Основными элементами гидрографа, которые необходимо знать, являются его объем  $W$ , максимальный расход  $Q_{\text{max}}$ , общую продолжительность  $T$ , продолжительность подъёма половодья, также его очертания.

Анализ гидрографов весенне-летнего половодья р. Терисбутак показал, что они имеют сложную разнообразную, зачастую многопиковую форму. Это обусловлено вертикальной зональностью снеготаяния и выпадением жидких осадков в период половодья (рисунки 4 – 6). Зависимость между объемами половодья и максимальными расходами слабая. Дождевые паводки обычно кратковременны и имеют высокий максимум.

Вследствие указанных причин расчетные гидрографы половодья 1 % обеспеченности и поверочные 0,1 % обеспеченности построены в трех вариантах с применением моделей гидрографов за 1999, 2006 и 2010 фактические годы наблюдений.

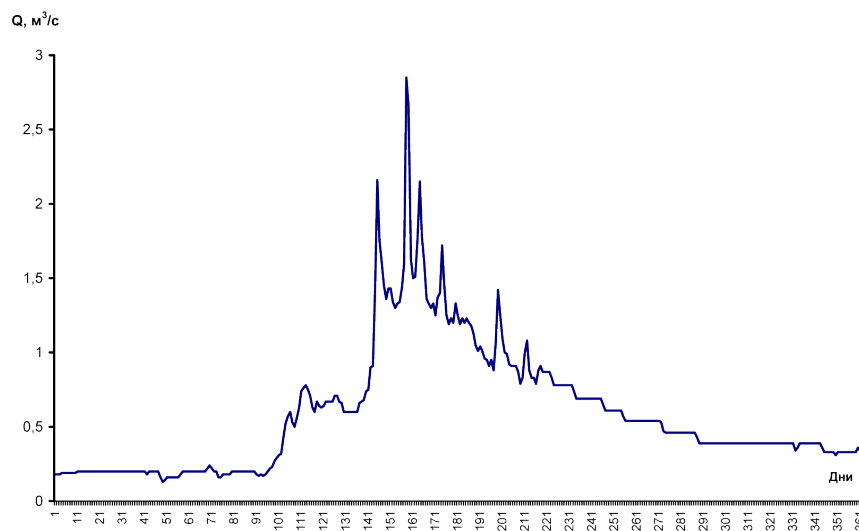


Рисунок 4 – Гидрограф стока воды р. Терисбутак – устье, 1993 год

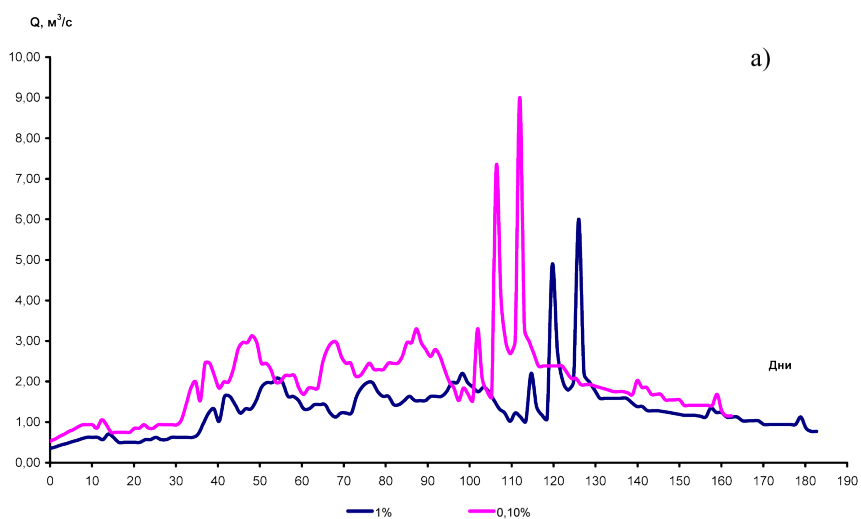


Рисунок 5 – Гидрограф стока воды р. Терисбутак – устье, 2000 год

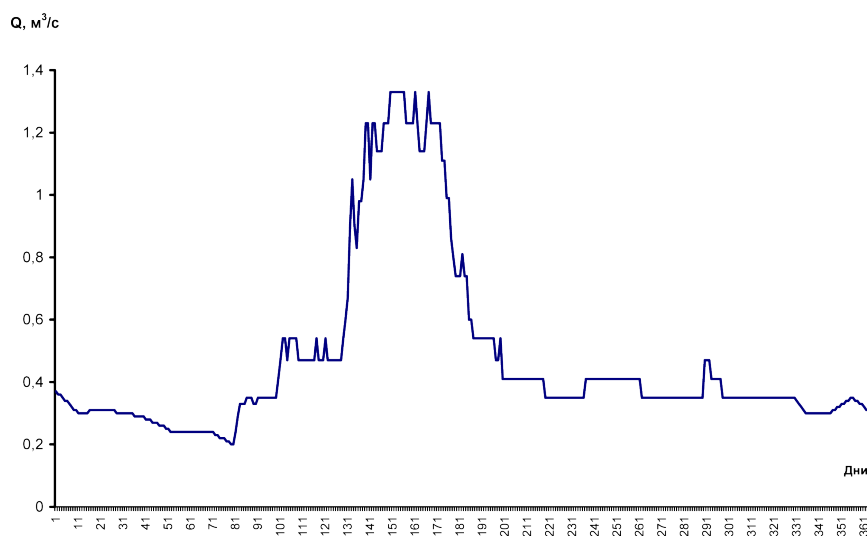


Рисунок 6 – Гидрограф стока воды р. Терисбутак – устье, 1982 год

1999 год – со значительным максимальным расходом воды. 2006 год – с несколькими пиками половодья, в который по некоторым рекам в данном районе прошли селевые потоки или была предселевая обстановка. 2010 год с большим объемом половодья. Расчетные гидрографы половодья р. Терисбутака-устье 1 % обеспеченности, поверочные 0,1 % обеспеченности, а также гидрографы-модели приведены на рисунках 7 – 9.

Расчетные гидрографы получены путем перемножения на переходные коэффициенты ординат (расходов) и абсцисс (времени) фактических гидрографов, используемых в качестве моделей.

Эти коэффициенты вычисляются для координат:

$$\text{для ординат: } K_Q = \frac{\bar{Q}_{P\%}}{\bar{Q}_M(\text{модели})}, \quad (1)$$

$$\text{для абсцисс: } K_t = \frac{\bar{Q}_M(\text{мод})}{\bar{Q}_{P\%}} \times \frac{W_{P\%}}{W_M} \quad (2)$$

где  $\bar{Q}_{P\%}$  – максимальный расход гидрографа расчетной обеспеченности;

$\bar{Q}_M(\text{мод})$  – максимальный расход гидрографа-модели;

$W_{P\%}$  – объем стока гидрографа расчетной обеспеченности;

$W_M$  – объем стока гидрографа-модели.

Расчетные гидрографы построены по средним суточным расходам воды, включая и средний суточный максимум.

**Селевые расходы.** Как было уже отмечено выше, для р. Терисбутака, как и для преобладающего большинства горных рек северного склона Илейского Алатау, характерна возможность перерастания выдающихся водных паводков в селевые потоки.

Илейский Алатау – один из наиболее селеопасных районов не только в Казахстане, но и в СНГ. Его мощные селевые катастрофы известны всему миру, например, сель 1921 года на р. Киши Алматы, который вошел в историю под названием «Алматинская катастрофа» (Виноградов Ю.Б., 1976). По данным «Казгидромета» и «Казселезащиты» на территории Республики Казахстан с 1841 г. отмечено около 800 прошедших селей, из которых более 400 приходится на Илейский Алатау. В 2003 году наблюдался сель и в бассейне р. Терисбутака.

Наибольшей селеопасностью в Илейском Алатау характеризуются реки его север-

ного склона: Киши и Улькен Алматы, Есик, Талгар, Аксай, Каскелен. Сели также отмечены в бассейне р. Турген и Каракастек.

При прохождении селевых потоков максимальные их расходы достигают катастрофических значений. Например, в 1950 г. при прохождении селя в бассейне р. Кумбель, который является притоком р. Улькен Алматы, (с площадью водосбора 22,4 км<sup>2</sup>, максимальным расходом воды 1 % обеспеченности 20,0 м<sup>3</sup>/с, 0,1 % обеспеченности – 38 м<sup>3</sup>/с) расход достигал 972 м<sup>3</sup>/с, а на реке Улькен Алматы в 2 км выше устья р. Проходная – 322 м<sup>3</sup>/с. Ещё более высокие расходы отмечались на р. Улькен Алматы при прохождении селя 1977 года (до 11000 м<sup>3</sup>/с у ГЭС №2) (Баймолдаев Т., Виноходов В., 2007).

Во время прохождения селевого потока 1921 года по р. Киши Алматы расход его в створе гидрологического поста г. Алматы достигал 970 м<sup>3</sup>/с. В 1973 г. во время селя по той же реке при входе в селехранилище в урочище Медео он оценен около 10000±3000 м<sup>3</sup>/с (Баймолдаев Т., Виноходов В., 2007). При выпадении выдающихся максимумов ливневых осадков сели в Илейском Алатау носят массовый характер, как это было, например, в 1921 г., в 1947 г. и в некоторые другие годы.

Сели в бассейне р. Улькен Алматы выше замыкающего створа р. Улькен Алматы – в 2 км ниже устья р. Терисбутака наблюдались в 1887, 1889, 1921, 1931, 1936, 1942, 1946, 1947, 1948, 1949, 1950, 1953, 1955, 1956, 1958, 1959, 1964, 1967, 1977, 2003, 2006 гг. и др.

По генезису сели в бассейне р. Улькен Алматы бывают ливневого, гляциального и смешанного происхождения при совпадении интенсивного снеготаяния и выпадения ливней, а также при накладке дождевых паводков на ледниковый сток. По составу селевой массы в данном районе они бывают наносоводные и грязекаменные.

Ледников в бассейне р. Терисбутака нет. Сели в этом бассейне могут возникать в период снеготаяния, выпадения ливней, а также иметь смешанное происхождение.

Расчет параметров селевых потоков – одна из самых сложных задач гидрологии. Это обусловлено прежде всего, как правило, отсутствием результатов их измерений во время прохождения, отсутствием ряда наблюдений, вследствие их редкой повторяемости, а также сложностью и влиянием большого количества факторов их образования.



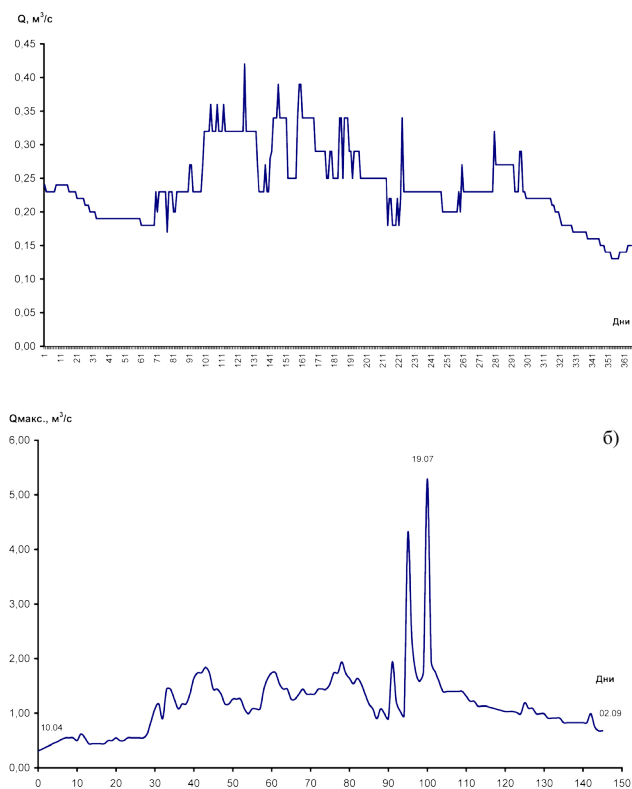


Рисунок 7 – Расчетные гидрографы половодья 1 % и 0,1 % обеспеченности (а) и гидрограф-модель (б), (1999 год), р. Терисбутак

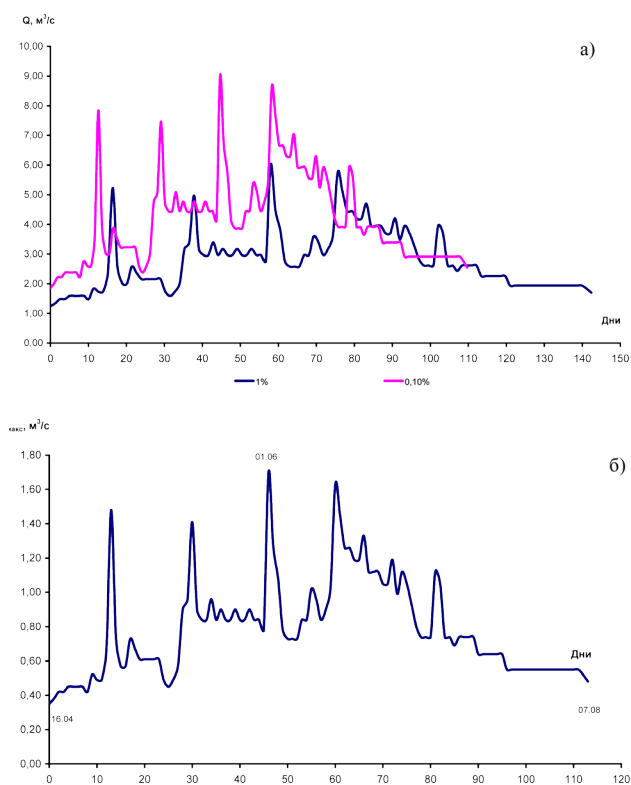


Рисунок 8 – Расчетные гидрографы половодья 1 % и 0,1 % обеспеченности (а) и гидрограф-модель (б), (2006 год), р. Терисбутак

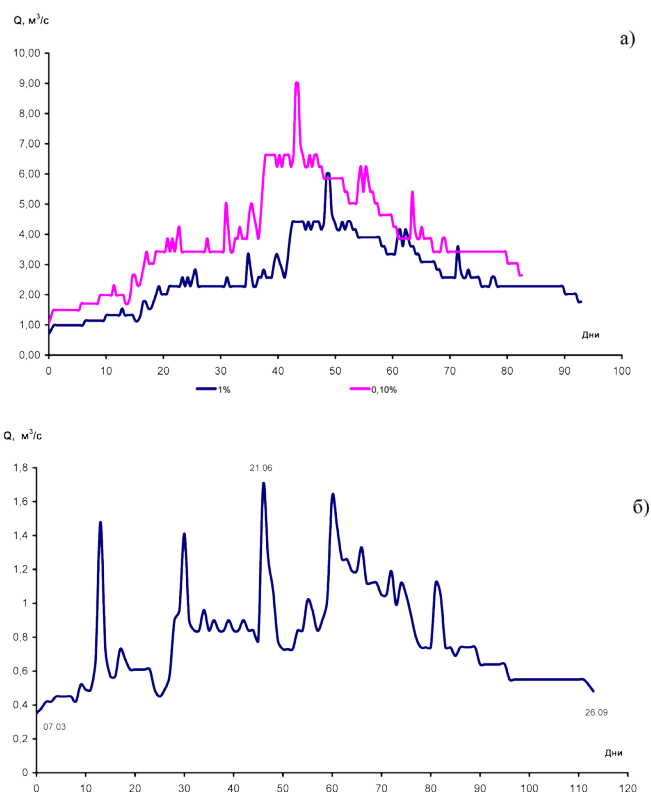


Рисунок 9 – Расчетные гидрографы половодья 1 % и 0,1 % обеспеченности (а) и гидрограф-модель (б), (2010 год), р. Терисбутак

Ввиду отсутствия непосредственной массовой проверки в натуральных условиях тех или иных методов, формул и коэффициентов, выведенных либо аналитическим путем, либо на ограниченном экспериментальном материале, к каждому из них следует относиться как к предварительному, требующему апробации, возможно корректировки и установления сфер применения. Особенно это относится к определению плотности, скорости, расходов и объёмов селей. Неслучайно можно при характеристике конкретных прошедших селей найти совершенно различные величины их характеристик. С появлением новых расчетных методов зачастую производятся пересчет прежних значений и параметров выдающихся селей.

В данной работе произведен расчет максимальных расходов и плотности селевой массы наносоводных и грязекаменных селевых потоков, образование которых возможно на р. Терисбутак, согласно (Рекомендации по проектированию противоселевых защитных сооружений, 1985: 58; Мазур Л.П., Чигринец Л.Ю., 2015).

**Максимальный расход наносоводного потока** определяется по формуле:

$$Q_{c1\%} = Q_{V1\%} / (1 - St), \quad (3)$$

где  $Q_{c1\%}$  – селевой расход 1 % обеспеченности;  
 $Q_{V1\%}$  – водная составляющая селевого расхода;

$St$  – предельная объёмная концентрация твердой составляющей наносоводного селевого потока, определяемая по формуле:

$$St = 2,33 \sin \alpha, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – угол наклона русла на участке выше расчетного створа.

Плотность селевой массы:

$$\rho_c = \rho_0 + St(\rho_T - \rho_0), \quad (5)$$

где  $\rho_T$  – плотность твердой составляющей селевого потока;

$\rho_0$  – плотность воды.

Максимальный расход грязекаменного селевого потока находится по формуле:

$$Q_{c_{1\%}} = Q_{v_{1\%}} \times K_1 \times K_B, \quad (6)$$

где  $K_B$  – коэффициент валообразования, принимаемый равным 2, если  $Q_{v_{1\%}} \times K_1$  больше 1000 м<sup>3</sup>/с и равным 2,5, если  $Q_{v_{1\%}} \times K_1$  менее 1000 м<sup>3</sup>/с;

$K_1$  – коэффициент, определяемый с помощью

графика  $K_1 = f\left(\frac{H}{y}\right)$ , приведенному в (Реко-

мендации по проектированию противоселевых защитных сооружений, 1985);

$H$  – падение на участке;

$y$  – устойчивость грунта к эрозии:

$$y = 0,3n + (1-n)A, \quad (7)$$

где  $A$  – коэффициент устойчивости грунта к эрозии, определяемый по таблице 3.

**Таблица 3** – Значения коэффициента устойчивости грунта к эрозии  $A$

Категория грунта	Характеристика селеформирующих грунтов	$A$
1	Консолидируемые грунты древних и современных морен	3,0
2	Делювиально-гравитационные грунты, накопившиеся в селевых руслах за межселевой период. Грунты первой категории расконсолидированные и накопившиеся на дне селевых русел в результате обрушений	2,0
3	Аллювиально-пролювиальные грунты	1,2

$n$  – коэффициент, учитывающий обрушение берегов русла по таблице, содержащийся в (Рекомендации по проектированию противоселевых защитных сооружений, 1985);

$\rho_{селевое}$  – плотность селя, определяется по графику  $\rho_c = f(H/y)$ , который также дан в (Рекомендации по проектированию противоселевых защитных сооружений, 1985: 58; Мазур Л.П., Чигринец Л.Ю., 2015).

Результаты расчетов приведены ниже в таблицах 4 и 5.

### Результаты исследований

1) Исследованы природные условия формирования максимального стока малых горных рек района исследования.

2) Выявлены особенности и закономерности формирования максимального стока

воды малых рек в условиях Юго-Восточного Казахстана.

3) Исследован водный режим р. Терисбутака и определены характеристики её половодья по многолетним данным (1947-2015 гг.)

4) Проанализированы методы расчёта и определены для р Терисбутака среднемноголетние характеристики максимальных расходов воды и расходы различной обеспеченности.

5) Получены расчетные гидрографы реки Терисбутака – 0,1 и 1 % обеспеченности.

6) Рассчитаны расходы наносоводных и грязекаменных селей 1 % обеспеченностей.

7) Даны рекомендации по расчету максимальных расходов воды малых горных рек при наличии и отсутствии наблюдений, а также по расчету селевых расходов.

**Таблица 4** – Расчет параметров наносоводных селевых потоков ливневого происхождения

Название реки, № расчетного створа	F, км <sup>2</sup>	L, км	Водная составляющая селя		St	Q <sub>c<sub>1%</sub></sub> , м <sup>3</sup> /с	I, ‰	Q <sub>c<sub>0,1%</sub></sub> , м <sup>3</sup> /с	$\rho_c$ , кг/м <sup>3</sup>
			Q <sub>1%</sub> , м <sup>3</sup> /с	Q <sub>0,1%</sub> , м <sup>3</sup> /с					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Река Терисбутака – устье	31,0	10,0	28,0	55,0	0,261	38,0	112	74	1440
Река Терисбутака – расчетный створ №1	4,79	4,0	4,33	8,50	0,35	6,66	150	13,1	1570
Река Казашка – расчетный створ №2	14,85	8,63	14,5	28,4	0,40	24,2	170	47,3	1660

Таблица 5 – Расчет параметров грязекаменных селевых потоков

Название реки, № расчетного створа	F, км <sup>2</sup>	L, км	Расход воды		А-пар. уст. грунта к эрозии	$y=0,3n+(1-n)A$	коэф. обруше- ния бортов сел.р.	H/y	K1	K <sub>v</sub>	Расход селя		$\rho_c$
			Q <sub>1%</sub> , м <sup>3</sup> /с	Q <sub>0,1%</sub> , м <sup>3</sup> /с							Q <sub>c1%</sub> , м <sup>3</sup> /с	Q <sub>c0,1%</sub> , м <sup>3</sup> /с	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Река Терис- бутак-устье	31,0	10,0	28,0	55,0	2,0	1,27	0,4	8,80	6	2,5	420	825	2230
Река Терис- бутак – расчет- ный створ №1	4,79	4,0	4,33	8,50	2,0	1,27	0,4	5,04	6	2,5	65	128	2270
Река Казашка – расчетный створ №2	14,85	8,63	14,5	28,4	2,0	1,27	0,2	753	8	2,5	290	568	2350

### Выводы

В результате выполненных работ можно сделать следующие выводы.

1) Гидрологические исследования и расчеты для горных территорий намного сложнее в сравнении с равнинными территориями, вследствие влияния на гидрологические процессы в горах ряда дополнительных факторов, которыми являются: высотная зональность гидрометеорологических элементов, экспозиционная зональность, барьерная зональность, ориентация хребтов по отношению к влагоносным массам воздуха, пятнистость выпадения атмосферных осадков. Кроме этого, максимальный сток воды рек зависит от конкретных условий бассейнов. По указанным причинам выбор рек-аналогов в горных условиях является трудной задачей.

2) Определение максимального стока воды горных рек представляет особо сложную задачу, что обусловлено слабой гидрометеорологической изученностью горных водосборов, методическими и техническими трудностями измерений максимальных расходов воды в горных условиях, а также рядом специфических особенностей формирования максимальных расходов, которые уже были отмечены выше.

3) Вследствие сложности условий формирования, расчленения стока воды по источникам питания рек, а также из-за того, что максимальные расходы воды здесь в основном смешанного происхождения, в основы расчета характеристик максимального стока приняты наибольшие за год расходы воды, независимо от их происхождения. Аналогичное решение содержится в ряде работ, например, в (Ресурсы пове-

рхностных вод СССР. Бассейн оз. Балхаш, 1970).

4) Анализ гидрографов весенне-летнего половодья р. Терисбутак показал, что они имеют сложную разнообразную, зачастую многопиковую форму. Это обусловлено вертикальной зональностью снеготаяния и выпадением жидких осадков в период половодья (рисунки 4-6). Зависимость между объёмами половодья и максимальными расходами слабая. Дождевые паводки обычно кратковременны и имеют высокий максимум.

5) Ввиду сложности формирования и большого разнообразия формы гидрографов стока половодья малых горных рек, в том числе и р. Терисбутак, построение расчётных гидрографов необходимо производить в нескольких вариантах, используя в качестве моделей фактические гидрографы различной формы.

6) Исследование селевых явлений в пределах рассматриваемой территории, более детальное определение их параметров, особенно для грязекаменных селей, характеристика русловых процессов при прохождении селей на наш взгляд должны быть самостоятельной темой.

7) При проектировании водозаборов необходимо предусмотреть их защиту при прохождении максимальных расходов воды, селей и возможного увеличения количества наносов в зимний период.

8) Следует отметить недостаточную гидрологическую изученность малых горных рек исследуемого района: малое количество пунктов наблюдений, слабое оснащение гидрологической сети приборами и оборудованием, позволяющими проводить качественные измерения

максимального стока, различных характеристик селей, а также насущную необходимость внедрения бесконтактных и дистанционных приборов и методов измерений. Положительно, что работы по выходу из этой ситуации ведутся (Мазур Л.П., Чигринцев Л.Ю. Практикум по дисциплине «Селеведение», 2015 г.)

9) Полученные в данной работе результаты исследований, наряду с приведенными ранее в (Чигринцев А.Г., Мазур Л.П., Ташметов Ф.С., 2017 г.; Чигринцев А.Г., Мазур Л.П., 2017 г.) могут быть использованы при дальнейшем исследовании малых горных рек Юго-Восточного Казахстана.

### Литература

- 1 Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Бассейн оз. Балхаш. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – Т.13, вып.2. – 304 с.
- 2 Чигринцев Л.Ю. Анализ и расчет стока наносов горных рек Юго-Восточного Казахстана. Канд. дисс. геогр.наук. 2001. – 254 с.
- 3 Чигринцев А.Г. Гидролого-экологическая оценка малых рек горно-предгорной зоны Илейского Алатау и разработка рекомендаций по их охране. Канд. дисс. геогр.наук. 2007.– 310 с.
- 4 Чигринцев А.Г., Мазур Л.П., Загидуллина А.Р. Максимальные расходы воды р. Киши Алматы и её притоков в нижнем течении // Гидрометеорология и экология, Алматы, 2012. – №2. – С. 66-81.
- 5 Чигринцев А.Г., Мазур Л.П., Загидуллина А.Р. Оценка максимальных расходов воды р. Каскелен и её притоков // Вестник КазНУ, 2015. – №1(40). – С. 100-108.
- 6 Ресурсы поверхностных вод СССР. Бассейн оз. Балхаш.– Л.: Гидрометеиздат, 1970. – Т.13, вып.2. – 643 с.
- 7 Государственный водный кадастр Республики Казахстан. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1991-2000 г. Бассейны рек оз. Балхаш и бессточных районов Центрального Казахстана. – Алматы, 2006. – Вып.4, т.1. – 175 с.
- 8 Государственный водный кадастр Республики Казахстан. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 2001-2015 г. Бассейны рек оз.Балхаш.
- 9 Чигринцев А.Г. Максимальные расходы воды рек Илейского Алатау // Гидрометеорология и экология, Алматы, 2006. – №3. – С. 93-103.
- 10 Виноградов Ю.Б. Этюды о селевых потоках. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 144 с.
- 11 Баймолдаев Т., Виноходов В. «Казселезащита» – оперативные меры до и после стихии. – Алматы.: Изд-во «Бастау», 2007. – 284 с.
- 12 Рекомендации по проектированию противоселевых защитных сооружений. П-814-84.-М., 1985. – 110 с.
- 13 Мазур Л.П., Чигринцев Л.Ю. Практикум по дисциплине «Селеведение». Алматы: Казак университети, 2015. – 213 с.
- 14 Чигринцев А.Г., Мазур Л.П., Ташметов Ф.С. Исследование уровня и ледового режима р. Терисбутаг // Вестник КазНУ, 2017. – №1(44). – С. 134-142.
- 15 Чигринцев А.Г., Мазур Л.П. Водные ресурсы и внутригодовое распределение стока воды реки Терисбутаг // Гидрометеорология и экология, Алматы, 2017. – №3. – С. 98-114.

### References

- 1 (1967) Gidrologicheskaya izuchennost. Resursi poverhnostnih vod SSSR. Bassein oz. Balhash. [Hydrological exploration maturity. Surface waters resources in the USSR. Balkhash lake basin] -L., Gidrometeoizdat, 1967. , vol.13, edit.2. – p. 304.
- 2 Chigrinets L.YU. Analiz i raschet stoka nanosov gornyh rek Yugo-Vostochnogo Kazahstana [Analysis and calculation of sediments runoff within the rivers of South-Eastern Kazakhstan]. Kand. diss. geogr.nauk. 2001. – p. 254
- 3 Chigrinets A.G. Gidrologo-ehkologicheskaya ocenka malyh rek gorno-predgornoj zony Ilejskogo Alatau i razrabotka rekomendacij po ih ohrane [Hydro-ecological estimation of small rivers within mountain and pre-mountain area of Ile Alatau, and elaboration of its security recommendation list]. Kand. diss. geogr.nauk. 2007.– p. 310
- 4 Chigrinets A.G., Mazur L.P., Zagidullina A.R. Maksimal'nye raskhody vody r. Kishi Almaty i eyo pritokov v nizhnem techenii [Maximum water duty of Kishi Almaty river and its affluents within the lower course] // Gidrometeorologiya i ehkologiya, Almaty, 2012. – №2. – p. 66-81.
- 5 Chigrinets A.G., Mazur L.P., Zagidullina A.R. Ocenka maksimal'nyh raskhodov vody r. Kaskelen i eyo pritokov [Estimation of maximum water duties within Kaskelen river and its affluents] // Vestnik KazNU, 2015. – №1(40). – p. 100-108.
- 6 (1970) Resursi poverhnostnih vod SSSR. Bassein oz. Balhash., [Surface waters resources in the USSR. Balkhash lake basin.] – L., Gidrometeoizdat, 1970. , vol.13, edit.2. , – p. 643.
- 7 (2006) Mnogoletnie dannie o rejime i resursah poverhnostnih vod sushi. Gosudarstvennii vodnii kadastr Respubliki Kazahstan. 1991-2000 g. Basseini rek oz. Balhash i besstochnih raionov Centralnogo Kazahstana., [Long-term data on the regime and resources of the land surface waters. State water cadastre of the Republic of Kazakhstan. 1991-2000. The basins of Balkhash lake rivers and drainless regions of Central Kazakhstan.] – Almaty, 2006., edit.4, vol.1., – p. 175.
- 8 (2001-2014) Ejegodnie dannie o rejime i resursah poverhnostnih vod sushi. Gosudarstvennii vodnii kadastr Respubliki Ka-

zahstan. Basseini rek oz.Balhash. 2001-2015 gg. [Annual data on the regime and resources of surface waters of the land. State water cadastre of the Republic of Kazakhstan. Basins of Balkhash lake rivers. 2001-2015]

9 Chigrinets A.G. Maksimal'nye raskhody vody rek Ilejskogo Alatau [Maximum water duties of rivers within Ile Alatau] // *Gidrometeorologiya i ehkologiya*, Almaty, 2006. – №3. – p. 93-103.

10 Vinogradov Yu.B. Etyudy o selevykh potokah [Sketches about mudflow streams]. – L.: Gidrometeoizdat, 1976. – p. 144

11 Bajmoldaev T., Vinohodov V. “Kazselezashchita” – operativnye mery do i posle stihii [“Kazselezashchita” – prompt measures before and after the disaster]. – Almaty.: Izd-vo “Bastau”, 2007. – p. 284

12 Rekomendacii po proektirovaniyu protivoselevykh zashchitnykh sooruzhenij [Recommendations on project elaboration regarding anti-mudflow security constructions]. P-814-84.-M., 1985. – p. 110

13 Mazur L.P., Chigrinets L.Yu. Praktikum po discipline “Selevedenie” [Workshop on the subject “Mudflow studies”]. Almaty: Kazak universiteti, 2015. – p. 213

14 Chigrinets A.G., Mazur L.P., Tashmetov F.S. Issledovanie urovnennogo i ledovogo rezhima r. Terisbutak [Research of level and glacial regime of Terisbutak river] // *Vestnik KazNU*, 2017. – №1(44). – p. 134-142.

15 Chigrinets A.G., Mazur L.P. Vodnye resursy i vnutrigodovoe raspredelenie stoka vody reki Terisbutak [Water resources and intra-annual water runoff distribution within Terisbutak river] // *Gidrometeorologiya i ehkologiya*, Almaty, 2017. – №3. – p. 98-114.