

С.К. Алимкулов¹ , Ж.Т. Раймбекова² , С.Ж. Исалдаева^{2*} 

¹ Институт географии и водной безопасности, Казахстан, г.Алматы

² Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан, г.Алматы

*e-mail: sabira.isaldayeva@gmail.com

ОЦЕНКА ВНУТРИГОДОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОКА РЕК СЕВЕРНОГО СКЛОНА ЖЕТЫСУ АЛАТАУ

В статье изложены результаты оценки внутригодичного распределения стока рек северного склона Жетысу Алатау. На основе данных последних лет уточнен среднемесячный сток рек для различных лет водности, показаны их изменения относительно ранних оценок.

Данные стоковых рядов сети гидрометслужбы содержат большое количество пропусков в наблюдениях, в связи с чем произведена реконструкция гидрологических рядов по методу аналогии и методу отношений. В качестве контроля обоснованности реконструкции рядов были рассчитаны среднеквадратические ошибки восстановленных рядов средних месячных величин. Для оценки внутригодичного распределения стока рек северного склона Жетысу Алатау были построены гистограммы распределения стока по месяцам и сезонам (в процентах от годового) по четырем группам водности: многоводный, средний, маловодный и очень маловодный за период 1965–2019 гг. Проведен сравнительный анализ полученных результатов с результатами ранее проведенных работ, в частности с данными справочника «Ресурсов поверхностных вод СССР», где средние сроки фаз водного режима приведены по данным за 1930–1965 гг. Результаты анализа показателей внутригодичного распределения стока рек рассматриваемого региона позволили выявить характерные черты в стокообразовании, изменения относительно ранних оценок.

Ключевые слова: средний месячный сток, ряд наблюдений, внутригодичное распределение стока, коэффициент корреляции, половодье.

S.K. Alimkulov¹, Zh.T. Raimbekova², S.Zh. Issaldayeva^{2*}

¹Institute of geography and water security, Kazakhstan, Almaty

²Al-Farabi Kazakh national university, Kazakhstan, Almaty

*e-mail: sabira.isaldayeva@gmail.com

The assessment of the intra-annual runoff distribution of the northern slope Zhetysu Alatau rivers

The article presents the results of an assessment of the intra-annual runoff distribution of the northern slope Zhetysu Alatau rivers. Based on the data of recent years, the average monthly flow of rivers for different years of water content has been clarified, and their changes relative to earlier assessments are shown.

The runoff series data of the hydrometeorological service network contain a large number of gaps in observations, in connection with that the hydrological series were reconstructed using the analogy and ratio method. As a validity control of the reconstruction of the series, the root-mean-square errors of the reconstructed series of monthly averages were calculated. To assess the intra-annual runoff distribution of the northern slope Zhetysu Alatau rivers, histograms of the distribution of runoff by months and seasons (as a percentage of the annual) were constructed for four water content groups: high-water, medium, low-water and very low-water for the period 1965–2019. A comparative analysis of the obtained results with the results of previous works, in particular, with the data of «Surface Water Resources of the USSR», where the average periods of the water regime phases are given according to data for 1930–1965 was carried out. The results of the analysis of indicators of the intra-annual runoff distribution in the region under consideration made it possible to identify characteristic features in runoff formation, changes relative to earlier assessments.

Key words: average monthly runoff, series of observations, intra-annual runoff distribution, correlation coefficient, flood period.

С.К. Алимкулов¹, Ж.Т. Раймбекова², С.Ж. Исалдаева^{2*}

¹ География және су қауіпсіздігі Институты, Қазақстан, Алматы қ.

² Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық универси теті, Қазақстан, Алматы қ.

*e-mail: sabira.isaldayeva@gmail.com

Жетісу Алатауының солтүстік беткейіндегі өзендер ағындысының жылішілік үлестірімін бағалау

Мақалада Жетісу Алатауының солтүстік беткейіндегі өзендер ағындысының жылішілік үлестірімін бағалау нәтижелері берілген. Соңғы жылдардың мәліметтері негізінде әртүрлі сулылық жылдары бойынша өзендердің орташа айлық ағыны нақтыланып, олардың бұрынғы бағалауға қатысты өзгерістері көрсетілген.

Гидрометеорологиялық қызмет желісінің ағынды қатарларының деректері бақылауларында көптеген бос орындар бар, осыған байланысты гидрологиялық қатарлар аналогиялық және арақатынастық әдістермен қайта қалпына келтірілді. Реконструкциялау негізділігін бақылау ретінде орташа айлық мәндер бойынша қайта қалпына келтірілген қатарлардың орташа квадраттық қателері есептелді. Жетісу Алатауының солтүстік беткейіндегі өзендер ағындысының жылішілік үлестірімін бағалау үшін 1965-2019 жылдар аралығындағы сулылықтың төрт топтамалары бойынша айлар мен маусымдар бойынша (жылдық пайызбен): суы мол, суы орташа, суы аз және суы өте аз жылдар үшін ағындының үлестірім гистограммалары құрастырылды. Алынған нәтижелердің алдыңғы жұмыс нәтижелерімен салыстырмалы талдауы жүргізілді, атап айтқанда, су режимі фазаларының орташа кезеңдері 1930-1965 жылдардағы деректер бойынша келтірілген «КСРО жер үсті суларының ресурстары» анықтаманың нәтижелерімен салыстырылған. Қарастырылып отырған аймақтағы өзен ағынының жылішілік үлестірімі көрсеткіштерін талдау нәтижелері ағын қалыптасуындағы сипаттамалық белгілерді, бұрынғы бағалауларға қатысты өзгерістерді анықтауға мүмкіндік берді.

Түйін сөздер: орташа айлық су өтімі, бақылау қатары, ағындының жылішілік үлестірімі, корреляция коэффициенті, су тасу.

Введение. Внутригодовое распределение стока рек имеет важное научное и практическое значение в решении задач планирования мероприятий по охране и рационализации использования водных ресурсов. Большинство параметров водохозяйственных и водообусловленных природоохранных мероприятий устанавливаются на основании расчетных ежемесячных характеристик стока. Вопросы оценки внутригодового распределения стока рек по отдельным речным бассейнам Казахстана освещены во многих научных работах. Исследования более поздних периодов наблюдений обобщены в 2-х монографиях (Гальперин, 2012: 214), (Достай, 2012: 364). В отдельных работах казахстанских (Гальперин, 1993: 79) (Давлетгалиев, 1996: 103), (Алимкулов, 2016: 221), (Чигринец, 2012: 54), (Кулебаев, 2013: 53) и зарубежных (Zhang, 2016: 681), (Langhammer, 2015: 3320), (Xiaochen, 2018: 478), (Alifujiang, 2021), (Volchak, 2020) ученых изучаются как вопросы внутригодового распределения стока, так и отдельные характеристики минимального или максимального стоков.

Оценка внутригодового распределения стока рек исследуемого региона представлена в материалах Ресурсов поверхностных вод СССР, 70-х годов прошлого века (Ресурсы поверхностных вод СССР, 1970: 130). Средние сроки в справочнике приведены по данным за 1930-1965 годы.

Однако, современные изменения гидрометеорологических условий и климатических показателей (Siegfried, 2012:112), (Седьмое национальное сообщение..., 2017: 135), (Chen, 2007:7) привели к серьезным изменениям в режиме стока (Абдрахимов, 2021:88). Так, в исследованиях Института географии и водной безопасности (Алимкулов, 2017: 4748), (Талипова, 2016: 114), (Турсунова, 2010: 120) достаточно подробно описаны изменения в сроках и длительностей различных фаз водности основных рек региона. В работе показаны связи этих изменений с современными изменениями климата. Рекомендуется оптимизация параметров гидросооружений исходя из этих условий. Также, в 2015-2017 гг. в рамках грантового финансирования Институтом географии было проведено научное исследование, посвященное оценке внутригодового распределения стока рек юго-востока Казахстана. В работе получены результаты относительно характера изменения внутригодового распределения стока рек региона, его зависимости от климатических условий, определены сроки прохождения половодья, смещения периода половодья. Настоящая работа является продолжением проведенного исследования.

Цель данной работы – уточнение современного состояния внутригодового распределения стока рек северного склона Жетысу Алатау и

анализ их изменений относительно периода «стационарного» климата.

Материалы и методы. Объектом исследования является сток рек северного склона Жетысу Алатау. В работе использованы данные систематических наблюдений гидрологической сети РГП «Казгидромет», опубликованные в ежегодниках и других справочных материалах. Расчеты произведены за период 1965-2019 гг. Расчетный период выбран с учетом результатов исследования годового стока, выполненного Институтом географии и водной безопасности «Оценка и прогноз возобновляемых водных ресурсов, возможных к использованию для целей орошения по водохозяйственным бассейнам Республики Казахстан». Гидрологические расчеты проведены согласно СП 33-101-2003, СНиП 2.01.14-83.

Для рек рассматриваемого региона в основном характерно продолжительное весенне-летнее половодье. На характер внутригодового распределения стока рек оказывают влияние климатические условия, гидрогеологические особенности, рельеф, и наряду с другими условиями (площадь водосбора, высотой) важное значение имеет преобладающая экспозиция склона.

В зависимости от особенностей внутригодового распределения стока, реки Северного склона Жетысу Алатау в работе (Ресурсы поверхностных вод СССР, 1970: 130) подразде-

лены на три района: реки северо-восточной части хребта Жетысу Алатау, реки северного склона и реки северо-западного склона хребта Жетысу Алатау. Для северо-восточной части хребта Жетысу Алатау характерна система менее высоких хребтов и гряд, протягивающихся параллельно главному, и образуемых ими межгорных котловин (Капалская, Кипилинская и др.). Наиболее значимая река района - Лепси, истоки которой находятся в области ледников на высоте более 3000 м (рис.1).

Реки северного склона характеризуются меньшей долей стока за весенний период и большей – в остальную часть. Здесь протекают реки, берущие начало в обширных ледниках – Сарыкан, Баскан, Аксу и др.

Реки северо-западного склона хребта Жетысу Алатау в зависимости от изменения их режима и высоты водосбора, в свою очередь подразделяются еще на две группы: группа а – реки с весенним половодьем, группа б – реки с весенне-летним половодьем. Район характеризуется высокогорной частью с оледенением, где расположены истоки основных рек, составляющих р. Каратал (Караой, Шыжын, Коксу), среднегорная часть с обширной орошаемой Когалинской долиной (где происходит частичное рассеивание стока) и низкогорная степная западная часть (бассейн р. Быжы), переходящая в сухие степи и

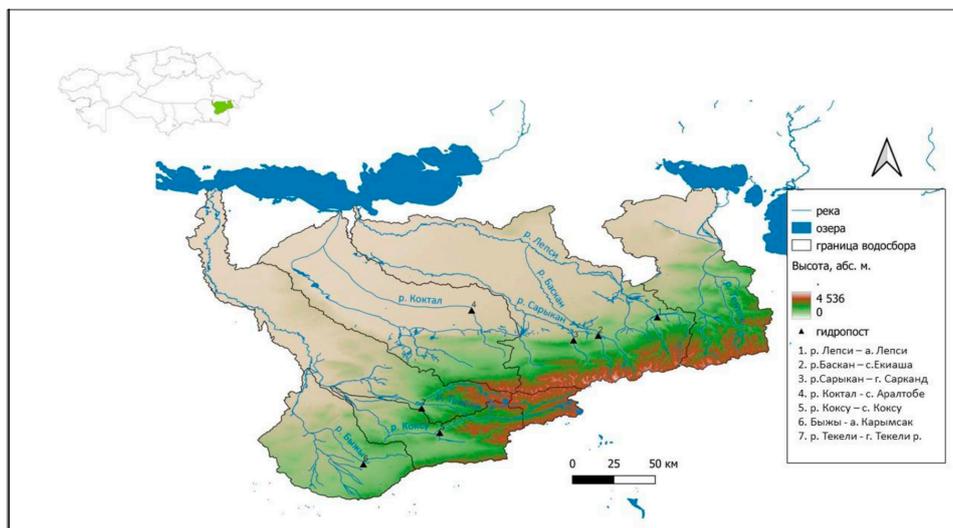


Рисунок 1 – Район исследования: реки северного склона Жетысу Алатау

пустыни Прибалхашья (Ресурсы поверхностных вод СССР, 1970: 11).

Для оценки внутригодового распределения стока рек были собраны данные наблюдений средних месячных расходов воды по 7 гидроло-

гическим пунктам наблюдений на основных реках региона.

Первые систематические наблюдения за стоком основных рек Иле-Балкашского бассейна были начаты в 30-х годах XX века *управле-*

нием гидрометеорологической службы (УГМС) (с 02.03.1999 РГП «Казгидромет»). На реках северного склона Жетысу Алатау наиболее ранние наблюдения начались в 1915 году на р.Каратал – с.Каратальское (в 4 км выше села), р.Каратал – ж/д станция Уштобе (в 13 км выше станции), на р.Лепси – с.Антоновка, до 1930 г. на территории велись наблюдения на 11 гидропостах, а уже к 1950 году – на 22. Продолжительность ряда гидрологических наблюдений рек Северного склона Жетысу Алатау также различна. В регионе количество гидрологических постов, имеющих продолжительность наблюдений более 50 лет составляет 14, на 7 гидропостах - 31-50 лет, на 3 - 21-30 лет, на 6 - 11-20 лет, на 5 гидропостах 5-10 лет, и всего 2 поста с непродолжительными наблюдениями до 5 лет.

По многим пунктам наблюдений отмечаются пропуски данных по средним месячным и соответственно годовым значениям стока. Причиной послужили как эпизодические измерения расходов воды (в период половодья), так и сложная экономическая ситуация в системе гидрометслужбы (сокращение количества гидропостов за наблюдениями стока). Как результат, измерения за расходами воды проводились только на крупных реках региона.

В связи с отсутствием на большинстве рек достаточно длинных наблюдений за средним месячным стоком возникает задача восстановления и приведения рядов с полными средними месячными значениями за многолетний период, т.е. реконструкции рядов.

Для восстановления рядов в данной работе был использован метод гидрологической аналогии. Выбор рек-аналогов выполнен по известным рекомендациям, где учитываются: однообразие стокообразования, географическая близость расположения водосборов в условиях горной местности с учетом высоты водосбора, средние высоты водосборов не должны существенно отличаться, для горных и полугорных районов следует учитывать экспозицию склона и гипсометрию; отсутствие факторов, существенно искажающих естественный речной сток (регулирование стока, сбросы воды, изъятие стока на орошение и другие нужды). При выборе пункта-аналога основным критерием является наличие синхронности в колебаниях речного стока расчетного створа и створов-аналогов, которые количественно выражают через коэффициент парной или множественной (при одновременном использовании нескольких аналогов) корреляции между стоком в этих пунктах

(СП 33-101-2003, 2004: 3), (СНиП 2.01.14-83, 1985: 22).

При выборе расчетных зависимостей учитывались требования, рекомендованные в СНиП. При расчете месячных значений стока за отдельные годы Q_i с использованием аналитических методов, основанных на регрессионном анализе, должны соблюдаться следующие условия:

$$n' \geq (6 - 10); R \geq R_{кр}; R/\sigma_{R \geq} A_{кр}; k/\sigma_{k \geq} B_{кр}, \quad (1)$$

где n' – число совместных лет наблюдений в приводимом пункте и пунктах-аналогах ($n' \geq 6$ при одном аналоге, $n' \geq 10$ при двух и более аналогах) или число пунктов-аналогов при восстановлении с привлечением кратковременных наблюдений ($n' \geq 6$); R – коэффициент парной или множественной корреляции между значениями стока исследуемой реки и значениями стока в пунктах-аналогах; k – коэффициент уравнения регрессии; σ_k – средняя квадратическая погрешность коэффициента регрессии; $R_{кр}$ – критическое значение коэффициента парной или множественной корреляции (обычно задается $\geq 0,7$); $A_{кр}$, $B_{кр}$ – критические значения отношений R/σ_R и k/σ_k , соответственно (обычно задаются $\geq 2,0$) (СП 33-101-2003, 2004: 17).

При отсутствии и невозможности подбора надежного гидрологического пункта-аналога в данной работе использовался метод отношений. В работе [СП 33-101-2003, 2004: 18], описан метод отношений при невозможности использования регрессионного метода и восстановлении отсутствующих значений стока другими аналитическими методами.

Метод отношений используется при выполнении условия $R \geq R_{кр}$, где R определяется по пространственной корреляционной функции или матрице парных коэффициентов корреляции по данным пунктов аналогов. Пункты-аналоги обычно выбираются по наименьшему расстоянию между центрами тяжести водосборов проектируемого пункта и пунктов – аналогов. Число привлекаемых в расчетах аналогов определяется как степень гидрологической изученности, так и пространственной однородностью рассматриваемой гидрологической характеристики. Установлено, что случайные средние квадратические (стандартные) погрешности уменьшаются лишь до трех аналогов.

В данной работе возникла необходимость доработки данного метода для восстановления средних месячных значений стока. Было сделано допущение о приблизительном равенстве

ежемесячных расходов воды одного гидропоста определенного года и года-аналога схожего по распределению расходов воды внутри года, т.е. обнаруживалась связь между месячными данными одного и того же поста за разные годы, определялся переходной коэффициент для отсутствующих месяцев,

$$\bar{Q} = (Q_{год\ восст.} * \bar{Q}_{мес.\ аналог}) / \bar{Q}_{год\ аналог}, \quad (2)$$

где $Q_{год\ восст.}$ – среднегодовое значение стока за восстанавливаемый год; $\bar{Q}_{мес.\ аналог}$ и $\bar{Q}_{год\ аналог}$ – среднегодовое и среднемесячное значение стока за год-аналог.

Данные связи построены для следующих рек: р.Баскан – с.Екиаша, р. Быжы – а. Карымсак, р.Текели – г.Текели, р.Коктал – с.Аралтобе,

р.Сарыкан – г.Сарканд. Коэффициенты корреляции составили от 0,90 до 0,99. Однако понятно, что данные связи построены на ограниченном материале и имеют достаточную погрешность. В целом, к расчетам приняты величины связей, построенных по 9-10 значениям среднемесячных расходов воды.

Результаты и обсуждение. Восстановлены пропуски в наблюдениях расчетных пунктов рек региона, кроме стоковых рядов в створе р. Коксу – с. Коксу (в 9 км к СВ от селения) и р. Лепси – аул Лепси, где имеется полный ряд наблюдений за средними месячными данными стока. Отдельные данные по реконструкции рядов основных постов, уравнения регрессии и коэффициенты корреляции между исследуемыми пунктами и пунктами-аналогами приведены в таблице 1 (по

методу аналогии) и таблице 2 (по методу отношений).

Таблица 1 – Сведения о реконструкции рядов среднего месячного стока рек Северного склона Жетысу Алатау по методу аналогии

№	Годы наблюдений за весь период наблюдений	Река-пост	Пункт-аналог	Годы совместных наблюдений	Кол-во лет совместных наблюдений	Коэф. корр. R	Уравнение регрессии	Годы, за которые восстановлен средний месячный сток	Кол-во восст. лет	δ, %
1	1936-1942, 1944-1999, 2002-2019	р.Баскан – с.Екиаша (Q _{VI})	р.Баскан – с.Екиаша (Q _V)	1944-2018	74	0.80	y = 1,1833x + 6,3719	Q _V - 2000	1	4.0
		р.Баскан – с.Екиаша (Q _{IV})	р.Баскан – с.Екиаша (Q _V)	1944-2018	73	0.81	y = 0,3952x + 2,0151	Q _{IV} - 1993, 2001	2	4,0
		р.Баскан – с.Екиаша (Q _{VII})	Сарыкан – г. Сарканд (Q _{VII})	1950-1999	49	0.73	y = 1,4245x + 1,0644	Q _{VII} - 2000	1	3.3
2	1945-1999, 2001-2019	р. Коктал - с. Аралтобе (Q _{IV})	р. Коксу – с.Коксу (Q _{IV})	1960-2003	42	0,80	y = 0,1886x + 2,1935	Q _{IV} -1999, 2000	2	3.9
		р. Коктал - с. Аралтобе (Q _V)	р. Коксу - с.Коксу(Q _V)	1960-2003	42	0,82	y = 0,1441x + 6,9204	Q _V -1999, 2000	2	3.1
		р. Коктал - с. Аралтобе (Q _{VI})	р. Коксу - с.Коксу (Q _{VI})	1960-2003	42	0,82	y = 0,1984x + 6,8689	Q _{VI} -1999, 2000	2	4.2
3	1949-1991, 1993-1996, 1998-2001, 2003-2019	р. Быжы - а. Карымсак (Q _{VI})	р. Коксу – с. Коксу (Q _{VI})	1955-2018	60	0.75	y = 0,0391x - 0,9153	1992, 1993, 1997, 2002	4	6.9
		р. Быжы - а. Карымсак (Q _{VII})	р. Коктал - с. Аралтобе (Q _{VII})	1949-2003	50	0.76	y = 0,0831x + 0,1715	1992, 1997, 2002	3	6.2
		р. Быжы - а. Карымсак (Q _X)	р. Коктал - с. Аралтобе (Q _X)	1983-2000	16	0.84	y = 0,1177x - 0,2809	1992, 1997, 2002	3	4.2

4	1960-1994, 1998-2019	р. Текели - г. Текели (Q_V)	р. Коктал - с. Аралтобе (Q_{VI})	1970-2001	27	0,82	$y = 0,2725x - 0,5111$	$Q_V - 1994-1997, 2000$	5	6,6
		р. Текели - г. Текели (Q_{VII})	р. Коктал - с. Аралтобе (Q_{VII})	1960-1991	32	0,74	$y = 0,0903x - 0,3303$	$Q_{VII} - 1994-1997$	4	9,3
		р. Текели - г. Текели (Q_{IV})	р. Коктал - с. Аралтобе (Q_V)	2003-2018	16	0,78	$y = 0,9682x - 2,412$	$Q_{IV} - 1995-1997$	3	6,8
5	1930-1997, 2001-2019	р.Сарыкан – г. Сарканд (Q_{IV})	р. Лепси – а.Лепси (Q_{IV})	1932-1990	59	0,79	$y = 0,1625x + 1,1588$	$Q_{IV} - 1993, 1998-2000$	4	4,8
		р.Сарыкан – г. Сарканд (Q_V)	р. Лепси – а.Лепси (Q_V)	1932-2001	68	0,81	$y = 0,1423x + 2,1612$	$Q_V - 1998, 2000$	2	3,4

Таблица 2 – Сведения о восстановлении рядов среднего месячного стока рек по методу отношений

Река-пост	Годы наблюдений за весь период наблюдений	год	год-аналог	коэффициент корреляции	месяцы, за которые восстановлен сток	Кол-во восст. месяцев
р.Баскан -с.Екиаша	1936-1942, 1944-1999, 2002-2019	2001	2006	0,96	I, II	2
		2010	2005	0,97	III	1
р. Быжы – а. Карымсак	1949-1991, 1993-1996, 1998-2001, 2003-2019	1994	1998	0,94	IV	1
		1997	2006	0,90	XI-XII	2
		2002	2004	0,93	XI-XII	2
р. Текели – г. Текели	1960-1994, 1998-2019	1994	1989	0,98	X-XI	2
		2000	2001	0,98	I, II, III	3
р. Коктал - с. Аралтобе	1945-1999, 2001-2019	2000	1991	0,99	I, II	2
		1999	1993	0,99	XI, XII	2
р.Сарыкан – г. Сарканд	1930-1997, 2001-2019	2010	2016	0,91	XII	1
		2011	2007	0,98	I-III	3

На рис.2 представлены графики связи между средними месячными величинами расходов воды в расчетных пунктах и пунктах-аналогах по р.Коктал – с.Аралтобе (пункт-аналог р.Коксу – с. Коксу Q_V) за май 1960-2003 гг., где коэффициент корреляции составляет $r=0,82$, уравнение регрессии: $y=0,1441x + 6,9204$, средняя квадратическая ошибка составила 3,1%; по р.Сарыкан – г.Сарканд (пункт-аналог р.Лепси – а.Лепси Q_V) за май 1932-2001 гг., коэффициент корреляции $r=0,81$, уравнение регрессии имеет вид $y=0,1423x + 2,1612$ (рис. 2).

По р.Текели – г.Текели (пункт-аналог р.Коктал – с.Аралтобе Q_{VI}) за май 1970-2001 гг., коэффициент корреляции рассматриваемой связи составил $r=0,82$, уравнение регрессии имеет вид: $y = 0,2725x - 0,5111$; по р.Баскан – с.Екиаша (пункт-аналог р.Баскан – с.Екиаша Q_V) за апрель 1944-2018 гг., коэффициент корреляции $r=0,81$, уравнение регрессии $y = 0,3952x + 2,0151$; по р. Быжы - а. Карымсак (пункт-аналог р.Коктал - с.Аралтобе, Q_X) за октябрь 1983-2000 гг., коэффициент корреляции составил $r=0,84$, уравнение регрессии $y=0,1177x - 0,2809$.

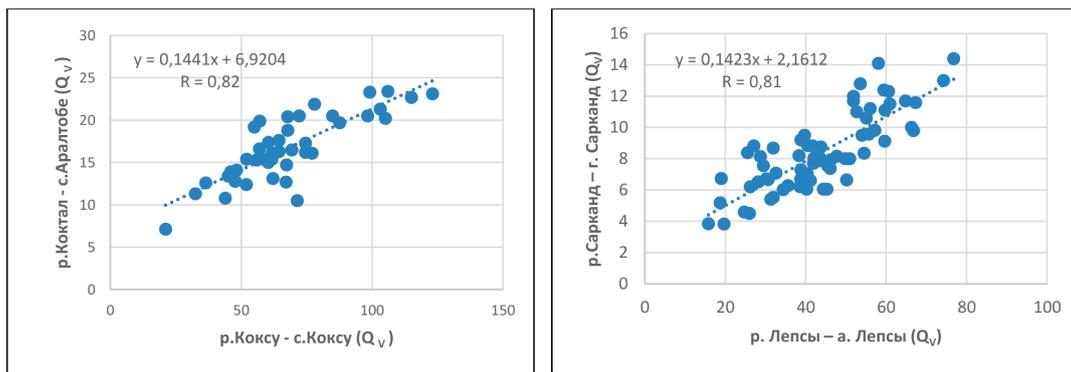


Рисунок 2 – Графики связи между среднемесячными величинами расходов воды (м³/с) в расчетных пунктах и пунктах – аналогах

Значение средней квадратической ошибки по восстановленным рядам наблюдений в среднем составляет $\delta=4,9\%$, значение самого высокого показателя равно $9,3\%$ – р. Текели – г. Текели (Q_{VII}), наименьшее значение на р. Сарыкан – г. Сарканд (Q_{VII}) – $2,8\%$.

Для определения годового стока заданной обеспеченности были построены кривые обеспеченности рек исследуемого региона. На

рис. 3 представлено внутригодовое распределение стока р.Лепси – а.Лепси при 5%-ой (1958-1959 гг.), 50%-ой (1984-1985 гг.), 75%-ой (1997-1998 гг.) и 95%-ой (1995-1996 гг.) обеспеченности. По всем заданным обеспеченностям наблюдается, что около 85% стока приходится на половодный сезон (с марта по сентябрь), остальные 15% стока формируются в оставшаяся часть года.

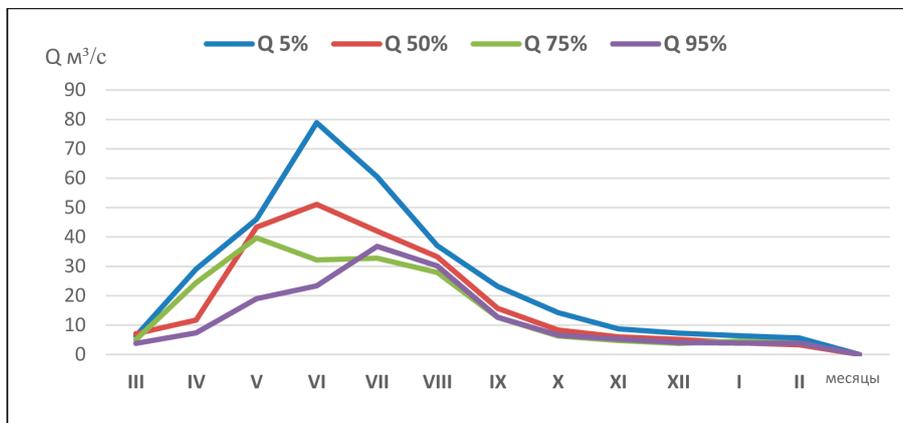


Рисунок 3 – Внутригодовое распределение стока р.Лепси – а.Лепси при 5%, 50%, 75% и 95%-й обеспеченности

Для проведения сравнительной оценки внутригодового распределения стока рек северного склона Жетысу Алатау с результатами данных Ресурсов поверхностных вод, были построены гистограммы распределения стока по месяцам и сезонам (в процентах от годового) по четырем группам водности: многоводный, средний, маловодный и очень маловодный. Так как средние сроки фаз водного режима в справочнике Ресурсов поверхностных вод приводятся по данным за 1930-1965 годы, оценка современного состояния внутригодового распределения стока рек проводилась за 1965-2019 гг.

Согласно работе (Ресурсы поверхностных вод, 1970: 117) при составлении расчетной схемы распределения стока рек исследуемого региона были приняты следующие лимитирующие периоды и сезоны: для рек северного, северо-восточного и группы рек б) северо-западного склона Жетысу Алатау водохозяйственный год длится с марта данного года по февраль следующего года, половодный сезон с марта месяца по сентябрь, лимитирующий период – октябрь-февраль, лимитирующий сезон – декабрь – февраль; а для рек группы а) северо-западного склона водохозяйственный год принят с марта по февраль, по-

ловодный сезон наблюдается с марта по июнь, лимитирующий период с июля по февраль и лимитирующий сезон с декабря по февраль месяцы.

Сравнительный анализ внутригодового распределения стока рек исследуемого региона показал следующее:

Для рек *северо-восточной части Жетысу Алатау* характерно весенне-летнее половодье. По сравнению с данными Ресурсов поверхностных вод за 1932-1965 гг. на р. Лепси - а. Лепси в много-

водные годы за 1965-2019 гг. при распределении стока по сезонам наблюдается небольшое увеличение доли стока в половодный сезон на 1,1% (87,6%), и уменьшение в нелимитирующий маловодный сезон на 0,8% (6,4%) и лимитирующий сезон на 0,3% (6,0%) (рис. 4). В средние по водности и маловодные годы наблюдается похожая картина, а в очень маловодные годы отмечается незначительное увеличение стока в нелимитирующий маловодный сезон и лимитирующий сезон.



Рисунок 4 – Распределение стока по сезонам (в процентах от годового) на р.Лепси – а.Лепси по данным за 1932-1965 гг. (Ресурсы поверхностных вод) и за 1965-2019 гг.

Если рассматривать распределение стока по месяцам, то здесь наблюдаются следующие особенности: во все периоды водности отмечается увеличение доли стока в июле-августе (для лет средней водности июнь-июль), и уменьшение стока в мае-июне в сравнении с данными Ресур-

сов поверхностных вод (1932-1965 гг.). За 1965-2019 гг. наибольший месячный сток наблюдается в июне, а в очень маловодные годы смещается на июль. По данным же Ресурсов поверхностных вод наибольший сток приходится на май, и только в многоводный период смещается на июнь (рис.5).

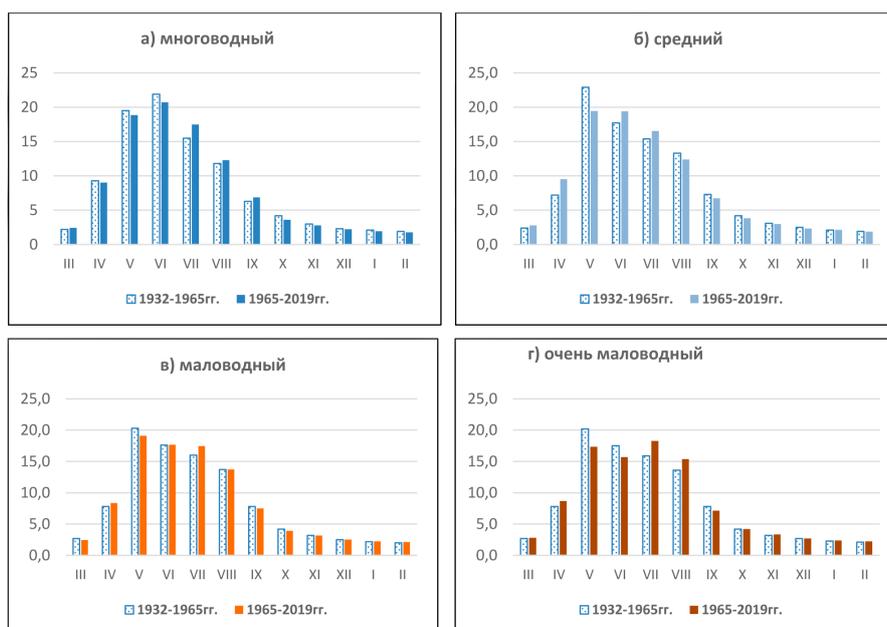


Рисунок 5 – Распределение стока по месяцам (в процентах от годового) на р.Лепси – а.Лепси по данным за 1932-1965 гг. (Ресурсы поверхностных вод) и за 1965-2019 гг.

Сравнительный анализ распределения стока рек северного склона Жетысу Алатау представлен на примере р. Сарыкан – г.Сарканд с высотой водосбора 2490 м. За период 1965-2019 гг. по всем группам водности с мая по август 1965-2019 гг. наблюдается уменьшение стока по сравнению с периодом 1930-1965 гг., в осталь-

ные же месяцы отмечается наоборот увеличение (рис.6). В многоводные годы в мае отмечается уменьшение доли стока на 1,5%, в июне на 4,7% и в июле на 2,6%. Наиболее заметное увеличение стока в эти годы фиксируется в марте на 1,5%, в сентябре-октябре на 1,3% и в ноябре на 1,5%.

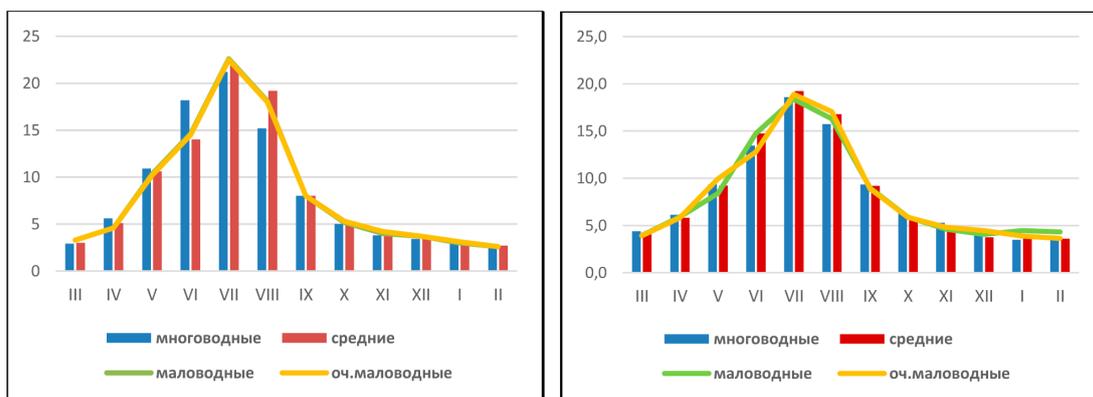


Рисунок 6 – Распределение стока по месяцам (в процентах от годового) на р.Сарыкан – г.Сарканд по данным за 1930-1965 гг. (Ресурсы поверхностных вод) и за 1965-2019 гг.

Реки данного района выделяются меньшей долей стока за весенний период (апрель-июнь) и большей – за остальные месяцы. На реках района с высотой водосбора выше 2250 м, где питание от ледников и вечных снегов играют значимую роль, влияние водности на сток рек

проявляется очень слабо (Ресурсы поверхностных вод, 1970: 131). Максимальный сток по всем группам водности по данным Ресурсов поверхностных вод за 1930-1965 гг. и за период 1965-2019 гг. отмечается в июле месяце (рис.7).

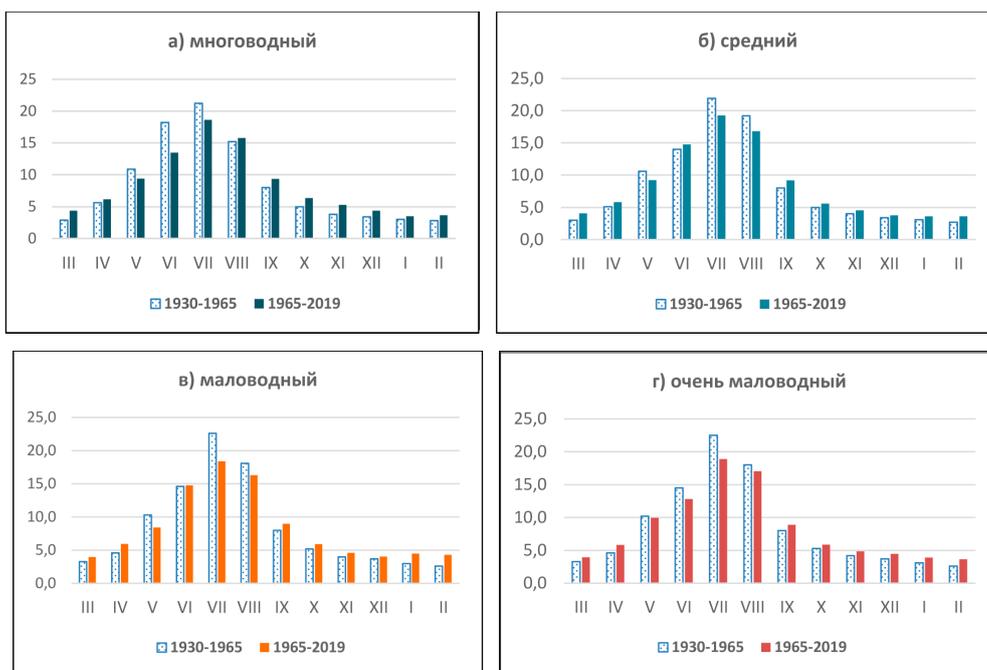


Рисунок 7 – Распределение стока по месяцам (в процентах от годового) на р.Сарыкан – г. Сарканд по данным за 1930-1965 гг. (Ресурсы поверхностных вод) и за 1965-2019 гг.

Реки северо-западного склона Жетысу Ала-тау подразделяются на две группы: группа а – реки с весенним половодьем, группа б – реки с весенне-летним половодьем. Значительное отличие в ходе внутригодового распределения стока рек исследуемого региона наблюдается в группе рек а). К этой группе относятся реки с высотой водосбора менее 2250 м и отличаются значительной долей стока в лимитирующий период (июль-февраль). Половодный сезон для данного района определен с марта по июнь,

нелимитирующий маловодный сезон с июля по ноябрь, лимитирующий сезон с декабря по февраль месяцы. На реке Быжы – а.Карымсак (высота водосбора 1490 м) половодный сезон за 1949-1965 гг. в многоводные годы по данным справочника Ресурсов поверхностных вод составляет 53,6% от годового стока, а за 1965-2019 гг. - 49,6% (рис. 8). С уменьшением водности доля стока в половодный сезон постепенно уменьшается, но увеличивается сток в лимитирующий сезон.

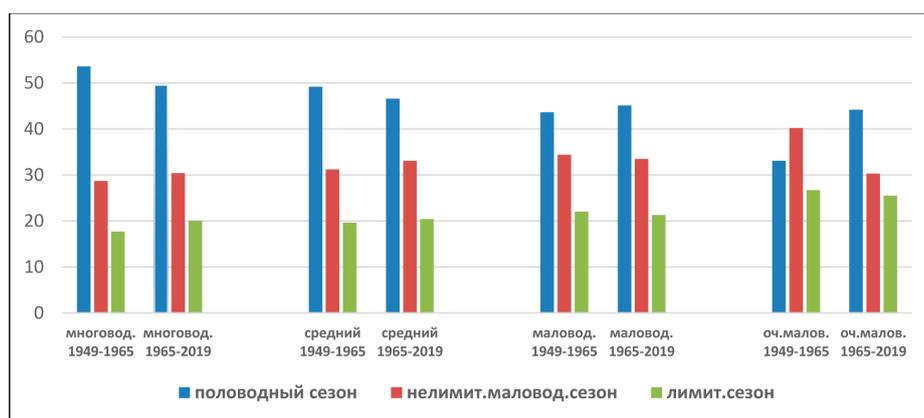


Рисунок 8 – Распределение стока по сезонам (в процентах от годового) по группам водности на р.Быжы – а.Карымсак по данным за 1949-1965 гг. (Ресурсы поверхностных вод) и 1965-2019 гг.

Сток летних месяцев (июль-август) уменьшается и составляет в среднем 12% в многоводные годы, с октября по февраль месяц отмеча-

ется повышение стока (28-32%) по сравнению с предыдущими месяцами (август-сентябрь) (рис. 9).

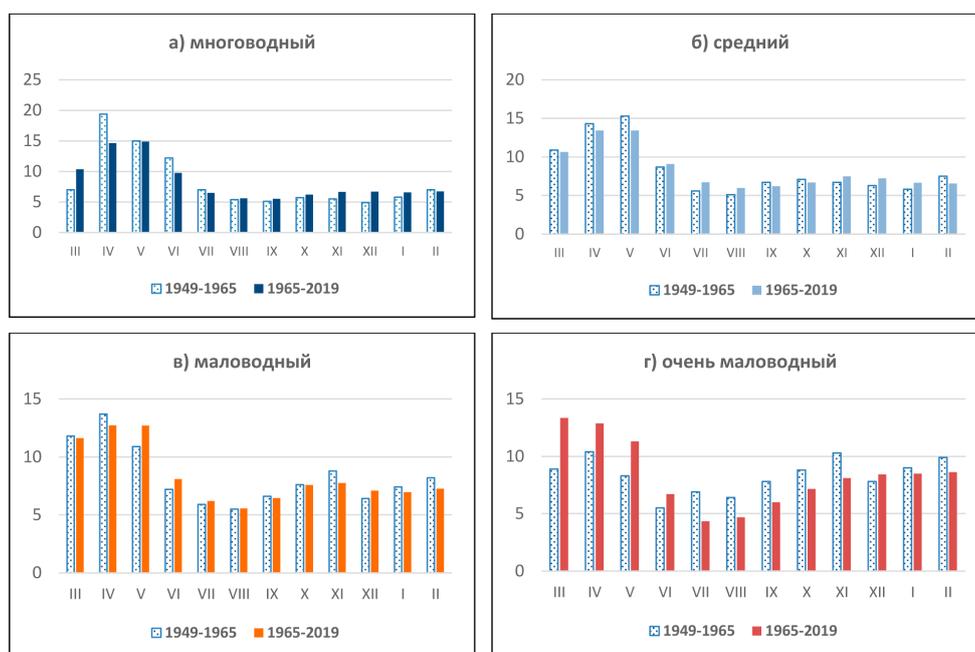


Рисунок 9 – Распределение стока по месяцам (в процентах от годового) на р. Быжы – а.Карымсак по данным за 1949-1965 гг. (Ресурсы поверхностных вод) и 1965-2019 гг.

В сравнении с данными справочника Ресурсов поверхностных вод (1949-1965 гг.) в многоводные годы за период 1965-2019 гг. заметно значительное снижение доли стока в апреле (на 4,8%) и увеличение стока в марте на 3,3%. В очень маловодные годы возрастает доля стока в весенние месяцы (март-май) и составляет 37,5%, что на 9,9% больше аналогичного периода за 1949-1965 гг. (27,6%), однако в летние месяцы (июль-август) наблюдается уже снижение стока на 4,3%.

Река Коктал – с. Аралтобе с высотой водосбора 2910 м представляет *группу рек б северо-западного склона Жетысу Алатау* – рек с весенне-летним половодьем. Реки данного района характеризуются низким стоком в лимити-

рующий период и высоким в остальную часть года. Оценка внутригодового распределения в справочнике Ресурсов поверхностных вод была проведена за период 1946-1965 гг. При сравнительном анализе, за период 1965-2019 гг. здесь наблюдается небольшое увеличение доли стока в лимитирующий сезон, а в нелимитирующий маловодный сезон уменьшение стока на 0,8%-1,2%. В многоводные и средние по водности годы значительных отличий в распределении стока по месяцам не наблюдается, а в маловодные годы заметно увеличение доли стока в марте-апреле, далее идет значительное уменьшение стока в июне на 3,6% и 3,8% в маловодные и очень маловодные годы соответственно, и увеличение стока в лимитирующий период (рис.10).

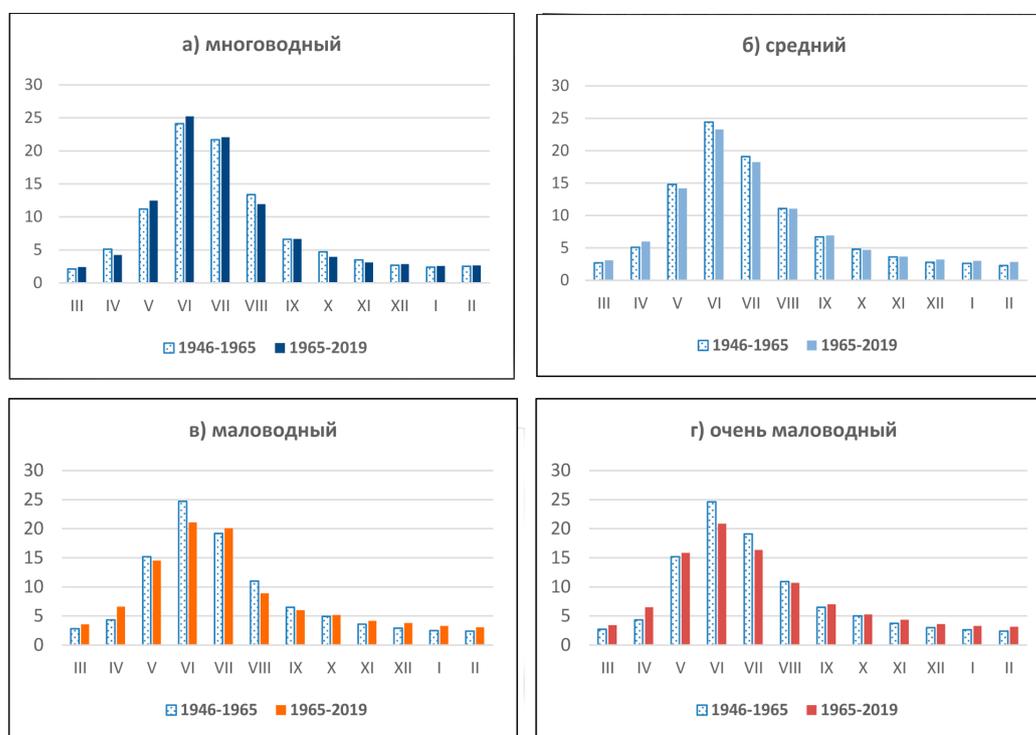


Рисунок 10 – Распределение стока по месяцам (в процентах от годового) на р.Коктал – с.Аралтобе по данным за 1946-1965 гг. (Ресурсы поверхностных вод) и за 1965-2019 гг.

Выводы. Полученные данные позволяют сделать следующие выводы:

Восстановление пропусков в наблюдениях позволило получить более обширный и качественный статистический материал.

Результаты сравнительного анализа показывают:

– сток рек в период подъема половодья повсеместно снизился. В это время сток в основном формируется от таяния снега в низкоргорных и среднегорных зонах;

– увеличились объемы воды рек в период спада половодья, что объясняется интенсивным таянием ледников, и соответственно увеличением ледниковой составляющей фазы половодья с 1970-1980-х годов;

– увеличение стока в период зимней межени, в связи с ростом зимней температуры и частых оттепелей в последние годы относительно периода до 1970-х годов, наблюдается в водосборах низкоргорья и среднегорья, в высокогорных районах заметных изменений нет.

В дальнейшем планируются более детальные исследования касательно сроков прохождения половодья и возможных смещений в связи с современными изменениями климата.

Литература

- Alimkulov S., Dostay Zh., Myrzakhmetov A. The role of climate change in the water regime of rivers in south-east of Kazakhstan. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*. – 2017. – Vol. 4. – Issue 10. – P. 4748-4760
- Alifujiang Y., Abuduwaili J., Groll M., Issanova G., Maihemuti B. Changes in intra-annual runoff and its response to climate variability and anthropogenic activity in the Lake Issyk-Kul Basin, Kyrgyzstan, *Catena* 198 (2021) 104974
- Chen, Y.N., Li, W., Xu, Ch. and Hao, X. Effects of climate change on water resources in Tarim River Basin. Northwest China. *Journal of Environmental Sciences*, 2007 – P. 488-493 -[https://doi.org/10.1016/s1001-0742\(07\)60082-5](https://doi.org/10.1016/s1001-0742(07)60082-5)
- Langhammer J., Su Y., Bernsteinova D. Runoff Response to Climate Warming and Forest Disturbance in a Mid-Mountain Basin. *Water* 2015, 7. - P. 3320-3342. <https://doi.org/10.3390/w7073320>
- Siegfried. T. Bernauer. T., Guiennet, R., Sellars, S., Robertson, A.W., Mankin, J., Bauer-Gottwein, P. and Yakovlev, A. Will climate change exacerbate water stress in Central Asia. *Climatic Change*, 2012 - 112: <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0253-z>
- Volchak A., Parfomuk S., Sidak S. Intra-annual Runoff Distribution in the Pripyat River Basin. 2020 International Conference on Building Energy Conservation, Thermal Safety and Environmental Pollution Control (ICBTE 2020). Vol. 212. – 2020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021201016>
- Xiaochen Ye, Zhiwei Wu. Contrasting Impacts of ENSO on the Interannual Variations of Summer Runoff between the Upper and Mid-Lower Reaches of the Yangtze River. *Atmosphere* 2018, 9 (12), 478; <https://doi.org/10.3390/atmos9120478>.
- ZHANG Feiyun, BAI Lei, LI Lanhai, WANG Quan. Sensitivity of runoff to climatic variability in the northern and southern slopes of the Middle Tianshan Mountains, China. *Journal of Arid Land*, 8(5) 2015 – P. 681–693.
- Абдрахимов Р.Г., Амиргалиева А.С., Даулетияров К.Б., Зияров А.М. Современные тенденции изменения годового стока реки или ее крупных притоков в условиях потепления климата // Вестник Московского университета. Серия 5. География. №4 – 2021. - С. 83-89.
- Алимкулов С.К., Турсунова А.А., Сапарова А.А., Загидуллина А.Р. Водные ресурсы речного стока южных регионов Казахстана: ретроспективное состояние, закономерности распределения. // Материалы международной научно-практической конференции «Водные ресурсы Центральной Азии и их использование», посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия «Вода для жизни». – Алматы, 2016. – Книга 1. – С. 218-226.
- Гальперин Р.И. Территориальные особенности параметров распределения максимальных уровней воды на равнинных реках Казахстана // Вопросы гидрологического и гидравлического режима рек Казахстана. – Алматы: КазГУ, 1993. – С. 78-85.
- Давлетгалиев С.К. Совокупная оценка нормы месячного стока рек Северной и Западной Джунгарии // Вестник КазГУ. Сер. географическая. №3– 1996. – С. 99-109.
- Достай Ж.Д. Ресурсы речного стока. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод юга и юго-востока Казахстана. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод Западного, Северного и Центрального и Восточного Казахстана / Ж.Д. Достай, С.К. Алимкулов, А.А. Сапарова. – Алматы, 2012. – Т. VII. – Кн.1. – 684 с.
- Кулебаев К. М. Внутригодовое распределение стока рек бассейна Шу, Талас // Вопросы географии и геоэкологии. – Алматы, 2013. – №2 – С.52-55.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Центральный и Южный Казахстан. Бассейн озера Балхаш. – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – Т. 13, вып. 2. – 646 с.
- Ресурсы речного стока. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод юга и юго-востока Казахстана. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод Западного, Северного и Центрального и Восточного Казахстана / под науч. Ред. Р.И. Гальперина – Алматы, 2012. – Т. VII. – Кн.1. – 684 с.
- СП 33-101-2003. Определение расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России, 2004. – 72 с.
- СНиП 2.01.14-83. Определения расчетных гидрологических характеристик/ Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1985. – 36 с.
- Седьмое национальное сообщение и третий двухгодичный доклад РК Рамочной конвенции ООН об изменениях климата. ПРООН. Астана, 2017. - 304 с.
- Талипова Э.К., Исақан Г. Балқаш-Алакөл су шаруашылық алабы бойынша өзен ағындысының жылдық үлестірімін бағалау // Гидрометеорология и экология №1. – 2016. – 114-122 бб.
- Турсунова А., Куркебаев А., Мырзахметов А. Внутригодовое распределение стока рек бассейна озера Балхаш. *Гидрометеорология и экология*. № 4 2010. – С. 118-128.
- Чигринец А.Г. Внутригодовое распределение стока правобережных притоков реки Ертіс в пределах Республики Казахстан // Вестник КазНУ. Серия географическая. – Алматы: «Қазақ Университеті», 2012. – №1 (34). – С. 54-63.

References

Alimkulov S., Dostay Zh., Myrzakhmetov A. (2017) The role of climate change in the water regime of rivers in south-east of Kazakhstan. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*. – Vol. 4. – Issue 10. – P. 4748-4760

- Alifujiang Y., Abuduwaili J., Groll M., Issanova G., Maihemuti B. (2021) Changes in intra-annual runoff and its response to climate variability and anthropogenic activity in the Lake Issyk-Kul Basin, Kyrgyzstan, *Catena* 198 (2021) 104974
- Chen, Y.N., Li, W., Xu, Ch. and Hao, X. (2007) Effects of climate change on water resources in Tarim River Basin. Northwest China. *Journal of Environmental Sciences*, 2007 – P. 488-493 -[https://doi.org/10.1016/s1001-0742\(07\)60082-5](https://doi.org/10.1016/s1001-0742(07)60082-5)
- Langhammer J., Su Y., Bernsteinova D. (2015) Runoff Response to Climate Warming and Forest Disturbance in a Mid-Mountain Basin. *Water*, 7. - P.3320-3342. <https://doi.org/10.3390/w7073320>
- Siegfried. T. Bernauer. T., Guiennet, R., Sellars, S., Robertson, A.W., Mankin, J., Bauer-Gottwein, P. (2012) and Yakovlev, A. Will climate change exacerbate water stress in Central Asia. *Climatic Change*: <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0253-z>
- Volchak A., Parfomuk S., Sidak S. (2020) Intra-annual Runoff Distribution in the Pripyat River Basin 2020 International Conference on Building Energy Conservation. Thermal Safety and Environmental Pollution Control (ICBTE) P. - 2-10. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021201016>
- Xiaochen Ye, Zhiwei Wu. (2018) Contrasting Impacts of ENSO on the Interannual Variations of Summer Runoff between the Upper and Mid-Lower Reaches of the Yangtze River. *Atmosphere*, 9 (12), 478; <https://doi.org/10.3390/atmos9120478>.
- ZHANG Feiyun, BAI Lei, LI Lanhai, WANG Quan. (2015) Sensitivity of runoff to climatic variability in the northern and southern slopes of the Middle Tianshan Mountains, China. *Journal of Arid Land*, 8(5) – P. 681–693.
- Abdrakhimov R.G., Amirgaliyeva A.S., Dauletiyarov K.B., Ziyarov A.M. (2021) Sovremennyye tendentsii izmeneniya godovogo stoka reki ili yeye krupnykh pritokov v usloviyakh potepleniya klimata [Modern trends in changes in the annual runoff of a river or its large tributaries under climate warming] // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya. №4.* - P. 83-89.
- Alimkulov S.K., Tursunova A.A., Saparova A.A., Zagidullina A.R. (2016) Vodnyye resursy rechnogo stoka yuzhnykh regionov Kazakhstana: retrospektivnoye sostoyaniye, zakonomernosti raspredeleniya [Water resources of the river runoff of the southern regions of Kazakhstan: retrospective state, patterns of distribution] // *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Vodnyye resursy Tsentral'noy Azii i ikh ispol'zovaniye», posvyashchennoy podvedeniyu itogov ob'yavlennoogo OON desyatiletiiya «Voda dlya zhizni».* – Almaty. – Kniga 1. – P. 218-226.
- Gal'perin R.I. (1993) Territorial'nyye osobennosti parametrov raspredeleniya maksimal'nykh urovney vody na ravninnykh rekakh Kazakhstana [Territorial features of the distribution parameters of the maximum water levels on the flat rivers of Kazakhstan] // *Voprosy gidrologicheskogo i gidravlicheskogo rezhima rek Kazakhstana.* – Almaty: KazGU. – P. 78-85.
- Davletgaliyev S.K. (1996) Sovokupnaya otsenka normy mesyachnogo stoka rek Severnoy i Zapadnoy Dzhungarii [Aggregate assessment of the norm of the monthly runoff of the rivers of the Northern and Western Dzungaria] // *Vestnik KazGU. Ser. geograficheskaya. №3.* – P. 99-109.
- Dostay ZH.D. (2012) Resursy rechnogo stoka. Vozobnovlyayemye resursy poverkhnostnykh vod yuga i yugo-vostoka Kazakhstana. Vozobnovlyayemye resursy poverkhnostnykh vod Zapadnogo, Severnogo i Tsentral'nogo i Vostochnogo Kazakhstana [River runoff resources. Renewable resources of surface waters in the south and southeast of Kazakhstan. Renewable resources of surface waters of Western, Northern and Central and Eastern Kazakhstan] / ZH.D. Dostay, S.K. Alimkulov, A.A. Saparova. – Almaty. – T. VII. – Kn.1. – 684 p.
- Kulebayev K. M. (2013) Vnutrigodovoye raspredeleniye stoka rek basseyna Shu, Talas [Intra-annual distribution of river runoff in the Shu and Talas basin] // *Voprosy geografii i geoekologii.* – Almaty. – №2 – P.52-55.
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. (1970) Tsentral'nyy i Yuzhnyy Kazakhstan. Basseyn ozera Balkhash [Resources of surface waters of the USSR. Central and Southern Kazakhstan. Lake Balkhash basin]. – L.: Gidrometeoizdat. – T. 13, vyp. 2. – 646 p.
- Resursy rechnogo stoka. (2012) Vozobnovlyayemye resursy poverkhnostnykh vod yuga i yugo-vostoka Kazakhstana. Vozobnovlyayemye resursy poverkhnostnykh vod Zapadnogo, Severnogo i Tsentral'nogo i Vostochnogo Kazakhstana [River runoff resources. Renewable resources of surface waters in the south and southeast of Kazakhstan. Renewable resources of surface waters of Western, Northern and Central and Eastern Kazakhstan] / pod nauch. Red. R.I. Gal'perina – Almaty. – T. VII. – Kn.1. – 684 p.
- SP 33-101-2003. (2004) Opredeleniye raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik [Determination of calculated hydrological characteristics]. – M.: Gosstroy Rossii. – 72 p.
- SNiP 2.01.14-83. (1985) Opredeleniye raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik [Definitions of calculated hydrological characteristics] / Gosstroy SSSR. – M.: Stroyizdat. – 36 p.
- Sed'moye natsional'noye soobshcheniye i tretiy dvukhgodichnyy doklad RK Ramochnoy konventsii OON ob izmeneniyakh klimata. (2017) [Seventh National Communication and Third Biennial Report of the RK to the United Nations Framework Convention on Climate Change] PROOON. Astana. – 304 p.
- Talipova E.Q., Isakan G. (2016) Balkhash-Alakol su sharuashylyk alaby boynsha ozen agyndysynyn jyldyk ulestirimini bagalau [Assessment of the annual distribution of river flows in the Balkhash-Alakol Water Management Area]. *Gidrometeorologiya i ekologiya* No1. – P. 114-122.
- Tursunova A., Kurkebayev A., Myrzakhmetov A. (2010) Vnutrigodovoye raspredeleniye stoka rek basseyna ozera Balkhash [Intra-annual distribution of river runoff in the Balkhash lake basin]. *Gidrometeorologiya i ekologiya. № 4.* 2010. – P. 118-128.
- Chigrinets A.G. (2012) Vnutrigodovoye raspredeleniye stoka pravoberezhnykh pritokov reki Yertis v predelakh Respubliki Kazakhstan [Intra-annual distribution of the runoff of the right-bank tributaries of the Ertis River within the Republic of Kazakhstan] // *Vestnik KazNU. Seriya geograficheskaya.* – Almaty: «Kazakh, Universiteti». – №1(34). – P. 54-63.