

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-2-15-26.9>

УДК 556.5.04
МРНТИ 87.35.29

А. Р. Загидуллина¹, Ж. Ж. Смагулов², Л. М. Биримбаева³, А. М. Сайлаубек^{*4}

¹Научный сотрудник лаборатории водных ресурсов, магистр естественных наук
(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; zagidullina_a_88@mail.ru)

²Старший научный сотрудник лаборатории водных ресурсов, магистр естественных наук
(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; zh.zh.smagulov@mail.ru)

³Научный сотрудник лаборатории Водных ресурсов, магистр естественных наук
(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан),
PhD студент кафедры метеорологии и гидрологии (Казахский национальный университет им. аль-Фараби,
Алматы, Казахстан; birimbayeva_l@mail.ru)

^{4*}Младший научный сотрудник лаборатории водных ресурсов, магистр естественных наук (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан), PhD студент кафедры метеорологии и гидрологии (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; gulima97life@gmail.com)

ТЕНДЕНЦИИ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ СТОКА ОСНОВНЫХ РЕК, ФОРМИРУЮЩИХСЯ В ЖАЙЫК-КАСПИЙСКОМ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОМ БАССЕЙНЕ

Аннотация. Исследованы временные тенденции стока основных рек, формирующихся в Жайык-Каспийском водохозяйственном бассейне. Построены графики временного хода среднегодового речного стока за многолетний период, 5-летние скользящие их осреднения, совмещенные графики хода речного стока с температурой воздуха и атмосферными осадками, а также многолетняя динамика характерных расходов воды (наибольших, наименьших открытого русла и наименьших зимних). Выделены два периода: с 1940 по 1973 г. (условно-естественный) и с 1974 по 2020 г. (современный). За два периода отмечается тенденция сокращения стока на фоне увеличения температуры воздуха; тенденции осадков имеют разнонаправленный характер. С 1970-х годов отмечается уменьшение амплитуды колебаний годового стока, с 2000-х годов – сокращение как амплитуды колебаний, так и максимальных расходов воды. В наименьших летне-осенних и зимних расходах воды, напротив, прослеживается тенденция к увеличению, начало которой приходится на конец 1980-х – начало 1990-х годов. Для малых рек и временных водотоков летне-осенний и зимний периоды являются периодами максимального истощения стока, во время которых характерны явления пересыхания и промерзания (нулевой сток).

Ключевые слова: тенденция, изменения речного стока, климатические изменения, Жайык-Каспийский бассейн, линейный тренд, многолетняя динамика, характерные расходы воды.

Введение. Современная теория о тенденциях обусловлена направленными изменениями климатической системы, которые проявляются как систематическое увеличение средней температуры воздуха на планете (глобальное потепление), постепенное поднятие уровня Мирового океана в результате таяния ледовых покровов, долгосрочные изменения в количестве и распределении осадков, включая региональные тенденции к засухам или увлажнению, повышение частоты и/или силы экстремальных природных явлений, таких, как ураганы, наводнения, засухи и пр. [1, 2].

Направленные изменения климата большинство ученых связывают с антропогенным воздействием, а именно с изменением газового и аэрозольного состава атмосферы в результате хозяйственной деятельности (сжигание угля, газа и нефтепродуктов, производство цемента, металлургия, животноводство и др.), а также изменением характера землепользования (вырубка лесов, осушение болот, рост урбанизированных территорий и т.п.) [3-5].

Речной сток как часть гидроклиматической системы подвержен влиянию направленных климатических изменений (увеличение температуры воздуха, изменение количества атмосферных осадков) и антропогенной деятельности (многолетнее и сезонное регулирование стока водохранилищем, безвозвратное изъятие воды и др.). Тенденции речного стока связаны с количественным сокращением воды и качественным изменением ее состава, с изменениями в водном

режиме рек, в том числе с сезонными изменениями внутри года, с изменениями продолжительности и интенсивности половодья и/или межени, смещением дат наступления и окончания фаз водного режима, учащением паводков, наводнений, гидрологических засух.

Тенденции речного стока показывают направление (увеличение или сокращение) и скорость происходящих изменений водности, указывают на нестационарность гидрологических характеристик, следовательно, изучение длительных тенденций необходимо для правильной оценки изменчивости колебаний стока и его нормы, а также для разработки методов долгосрочных гидрологических прогнозов [6]. Наблюдения за современными тенденциями речного стока позволяют ученым и специалистам в области водных ресурсов определять влияние различных факторов на водные системы, что, в свою очередь, помогает в планировании и управлении водными ресурсами.

Объект исследования. Для изучения тенденций речного стока выбраны основные водотоки Жайык-Каспийского водохозяйственного бассейна (ВХБ), охватывающего западный регион Казахстана – крупнейший по занимаемой площади и один из важнейших для экономики страны ввиду добычи минерально-сырьевых ресурсов, в первую очередь нефти и газа. В рассматриваемом бассейне проблема водообеспечения осложнена трансграничным характером основных рек (Жайык, Елек, Ор, Караозен, Сарыозен), а также рядом природных особенностей, таких, как засушливость и маловодность территории, включая высокую межгодовую и внутригодовую изменчивость стока. Резко выраженное преобладание стока в весенний период снеготаяния, доля которого в различных районах колеблется от 55 до 100 % от годового стока, часто приводит к наводнениям и затоплениям больших территорий. Несмотря на это, в многолетнем ходе стока рек Жайык-Каспийского бассейна встречается большая повторяемость лет с низкой водностью, нередко следующих один за другим и образующих маловодные периоды [7, 8].

Материалы и методы. Использованы данные гидрологического мониторинга за годовыми и характерными (наибольшими, наименьшими открытого русла и наименьшими зимними) расходами воды, опубликованные в архивных справочных изданиях (Гидрологический ежегодник, 1948-1982; Ресурсы поверхностных вод СССР, 1970; Государственный водный кадастр, 1980-1990; Государственный водный кадастр РК, 1991-2020).

Для определения тенденций многолетних изменений стока основных рек, формирующихся в Жайык-Каспийском ВХБ, выбраны опорные гидрологические посты в каждом гидрологически однородном районе (за исключением бессточных районов) с наиболее продолжительными рядами наблюдений с начала инструментальных наблюдений по 2020 год. При наличии пропусков в наблюдениях и в случаях нарушения естественного стока антропогенной деятельностью проводилась реконструкция расходов воды классическим методом гидрологической аналогии.

Тенденции речного стока Жайык-Каспийского ВХБ представлены в графическом виде как линейные тренды временного хода среднегодовых и характерных расходов воды за многолетний период. Во избежание воздействия отдельных краткосрочных колебаний, которые могут повлиять на определение общей динамики колебаний стока, построены 5-летние скользящие их осреднения. По разностным интегральным кривым определены многоводные и маловодные периоды водности различной продолжительности.

Для анализа взаимосвязи тенденций водности рек и климатических характеристик построены совмещенные графики многолетних колебаний расходов воды на выбранных гидрологических постах, атмосферных осадков и температуры воздуха вблизи расположенных метеорологических станций. Климатические данные взяты с официального сайта РГП «Казгидромет» [13].

Оценка линейных трендов произведена по методу наименьших квадратов при помощи коэффициентов линейного тренда, характеризующих скорость изменения исследуемой величины, а также коэффициентов детерминации, характеризующих относительный вклад линейного тренда в общую дисперсию. Более подробно методическая сторона оценивания линейных трендов изложена в работах Поляка И. И. [14, 15] и других авторов [16, 17].

Результаты и их обсуждение. Анализ разностных интегральных кривых стока по основным рекам, выбранным в каждом гидрологическом однородном районе (рисунок 1), показал, что годовые колебания стока по всем рассматриваемым рекам в целом можно определить как синфазные, т.е. сохраняются фазы цикла водности (многоводная или маловодная) со сдвигом начала и окончания на 3-10 лет. На рубеже 1970-1980-х годов на большинстве рек произошел

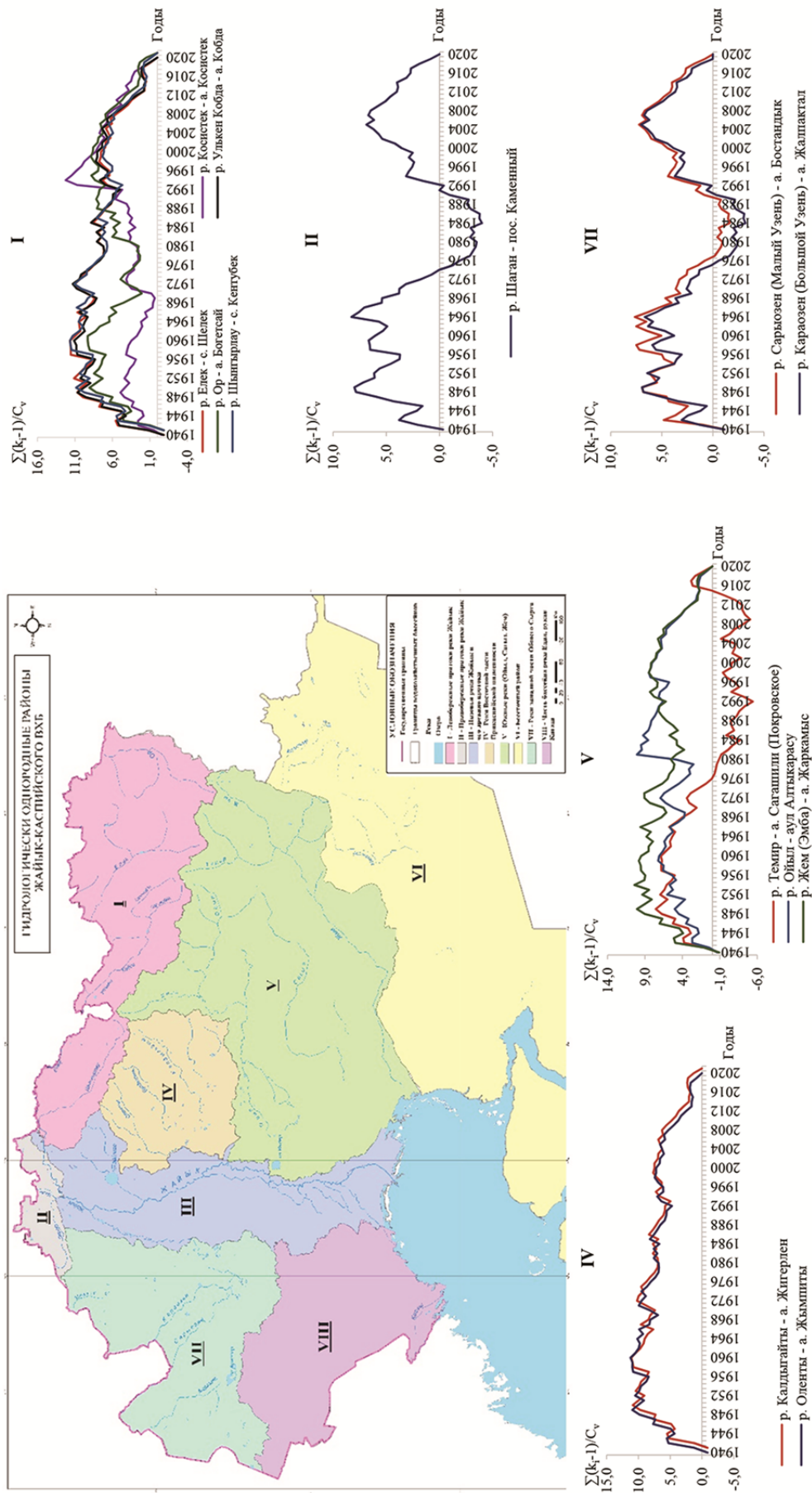


Рисунок 1 – Карта гидрологических однородных районов Жайык-Каспийского ВХБ и разностные интегральные кривые модульных коэффициентов основных рек за многолетний период

переход от маловодной фазы к многоводной, в 2000-х годах рост стока остановился и впоследствии на ряде рек сменился маловодным периодом. Немного отличается ход колебаний стока р. Темир, где маловодье затянулось до 1990-х годов, а в наступившей позднее многоводной фазе прослеживается чередование групп непродолжительных маловодных и многоводных лет.

Согласно графикам временного хода речного стока и скользящих 5-летних их осреднения (рисунок 2) колебания стока в рассматриваемых створах происходят синхронно, при этом отмечается уменьшение их амплитуды после 1950-х годов. Наблюдается чередование периодов различной водности, средняя продолжительность которых до 1970-х годов составляла 3-6 лет, после – 6-8 лет, а с 2000-х годов отмечается затяжной маловодный период (за исключением

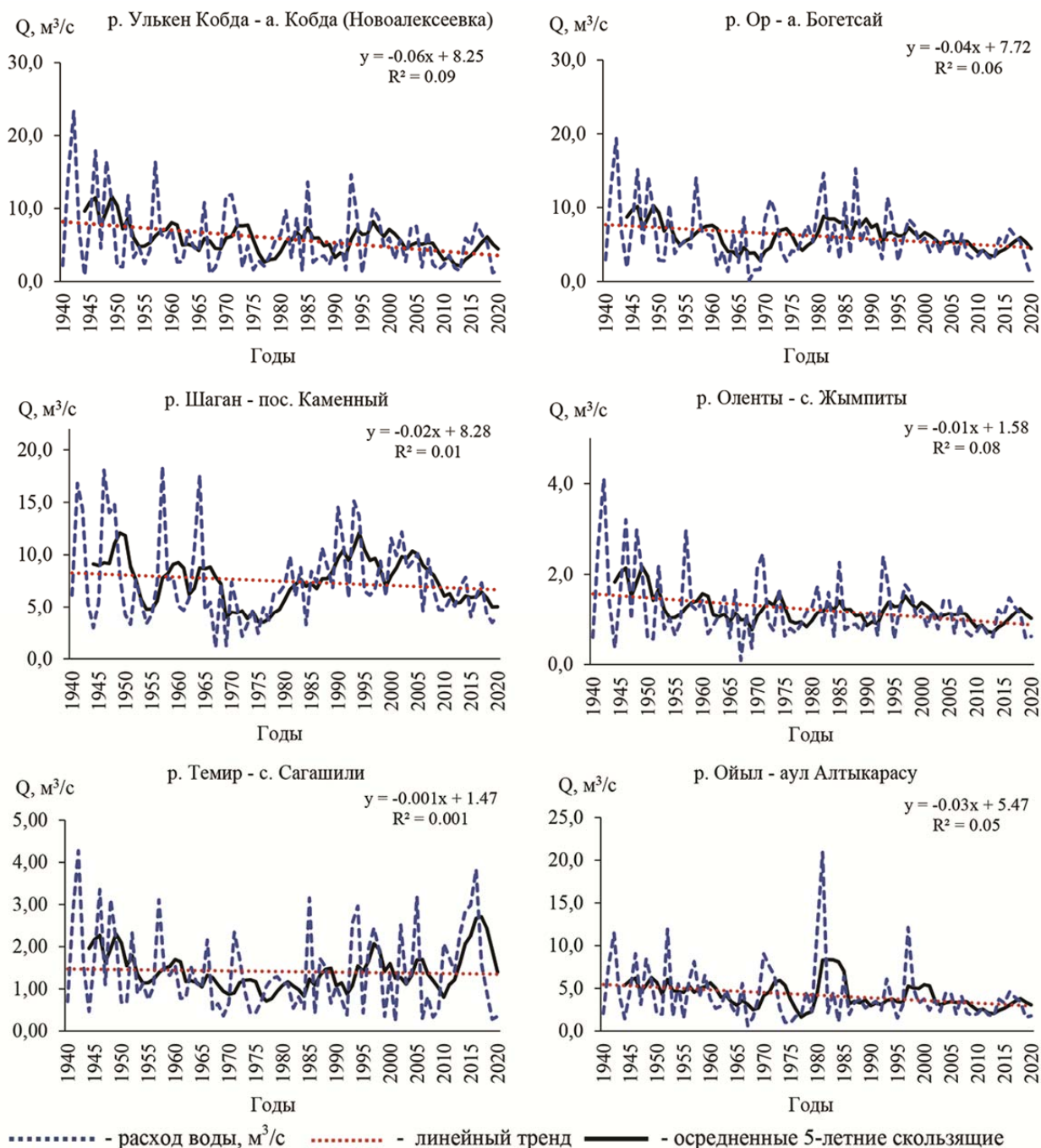


Рисунок 2 – Многолетний ход колебаний стока и скользящие 5-летние осреднения основных рек Жайык-Каспийского бассейна

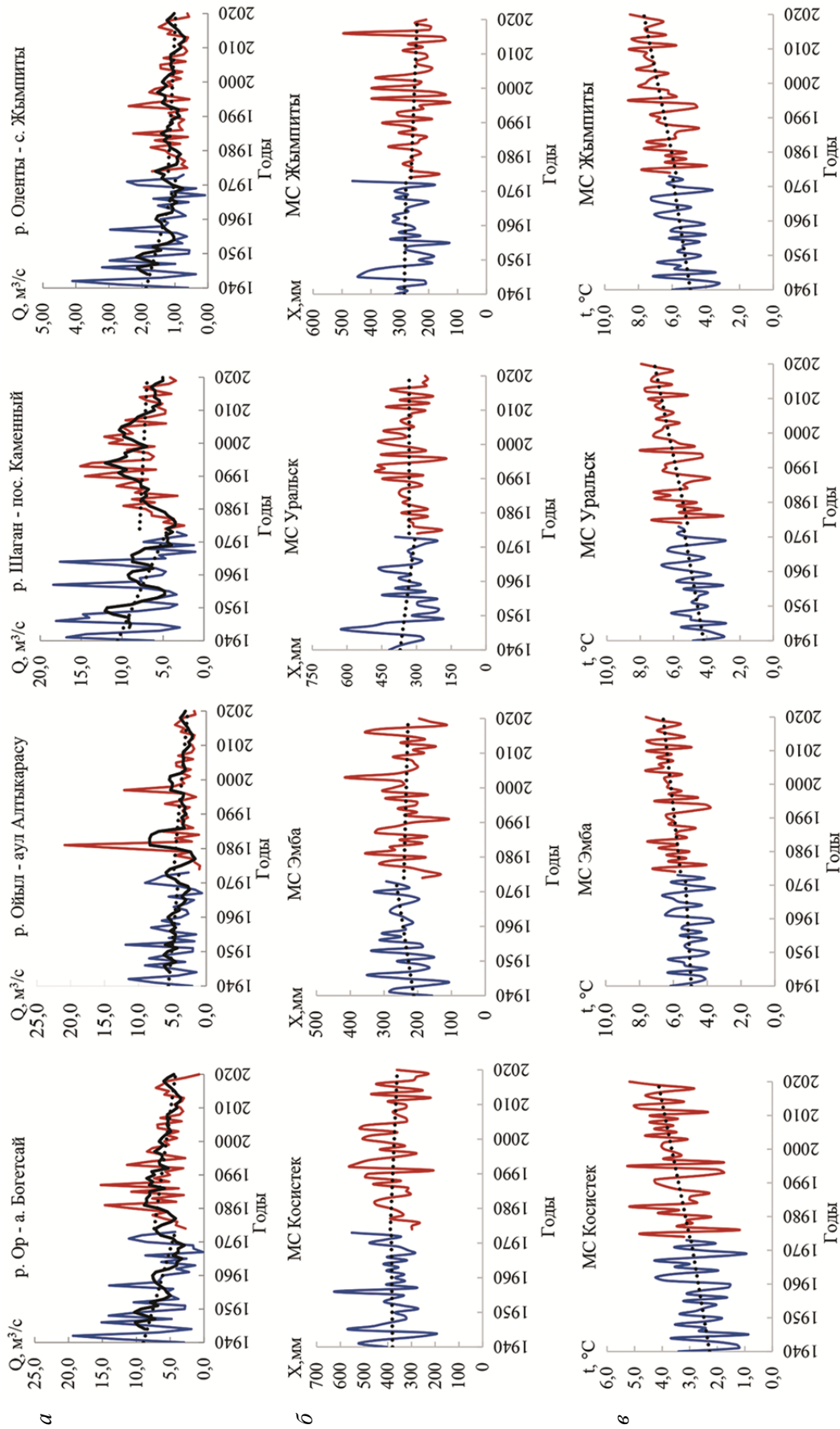


Рисунок 3 – Сравнение изменчивости стока воды (а), атмосферных осадков (б) и температуры воздуха (с) в Жайык-Каспийском ВХБ (..... - линейный тренд; — значения за период 1940-1973 гг.; — значения за период 1974-2020 гг.)

отдельных лет). Наиболее низкие среднегодовые расходы воды на большинстве рек исследуемого региона зафиксированы в 1967 г., наиболее высокие среднегодовые расходы воды – в 1942 г. Для р. Ойыл максимальный расход воды пришелся на 1981 г. Общая картина на большинстве рек в период 1940-2020 гг. говорит о тенденции сокращения стока. Для левобережных притоков р. Жайык (Ор, Елек, Улькен Кобда, Шынгырлау) и р. Оленты линейные тренды значимы на уровне 5 % вероятности, по остальным исследуемым рекам бассейна тренды не существенны.

Таким образом, на основании результатов исследований многолетних колебаний речного стока Жайык-Каспийского ВХБ (переход от маловодной фазы к многоводной на рубеже 1970-1980-х годов), а также с учетом потепления климата со второй половины XX века [18, 19] ряды речного стока можно разделить на два периода: условно-естественный – до 1973 г. и современный – после 1974 г. Первый период характеризуется стационарностью гидроклиматических процессов и минимальным антропогенным влиянием на речной сток, второй период характеризует текущую фазу климата (изменения природно-климатических условий формирования речного стока в исследуемом бассейне) и современный уровень антропогенного влияния на речной сток, что подтверждается предыдущими комплексными исследованиями по Казахстану [7].

Рассмотрим взаимосвязь водности рек с климатическими характеристиками путем сравнения изменчивости речного стока на рассматриваемых гидрологических постах, атмосферных осадков и температуры воздуха вблизи расположенных метеорологических станций (рисунок 3).

Сравнительный анализ водности рек и климатических характеристик показал, что общий ход годового стока рассматриваемых рек согласуется (синхронен) с ходом атмосферных осадков и температуры воздуха на близлежащих метеостанциях.

Для оценки интенсивности происходящих изменений проводился анализ линейного тренда исследуемых характеристик за многолетний период (1940-2020 гг.), за условно-естественный период (1940-1973 гг.), за современный период (1974-2020 гг.). Результаты расчетов даны в таблице.

Как показывают графики (см. рисунок 3), в период 1940-1973 гг. на всех рассматриваемых реках наблюдается тенденция сокращения стока, на ГП р. Улькен Кобда – с. Кобда и р. Ор – с. Богетсай – 1,48 и 1,43 м³/с за каждые 10 лет соответственно. По остальным исследуемым рекам сокращение стока колеблется от 0,040 до 0,47 м³/с/10 лет. Статистически значимыми на уровне 5 % обеспеченности для этого периода оказались лишь тренды рек Шаган и Темир, которые составили 1,81 и 0,33 м³/с за 10 лет.

Тенденции годовых сумм осадков за этот период имеют разнонаправленный характер в сторону как увеличения, так и уменьшения (см. рисунок 3). Темпы увеличения годового количества осадков колеблются от 1 до 16 мм/10 лет. Наибольший рост годовой суммы осадков отмечается в районе западного склона Мугалжар (МС Эмба) и составляет 16 мм/10 лет. Скорость уменьшения годового количества осадков у г. Орал (МС Уральск) равна – 20 мм/10 лет, в районе западной части Общего Сырта (МС Жалпактал) – 4 мм/10 лет. Однако доля трендовой составляющей в общей дисперсии по всем метеорологическим станциям не превышает 3 %, то есть выявленные изменения годового количества осадков по территории статистически не значимы. Тенденции температуры воздуха повсеместно имеют тенденцию к увеличению, но наибольшие и значимые темпы роста зафиксированы на МС Жалпактал и МС Уральск – 0,46 и 0,37 °С за каждые 10 лет соответственно.

За современный период (1974-2020 гг.) отмечается уменьшение размаха межгодовых колебаний стока по сравнению с предшествующим периодом. Тенденции этого периода показали сокращения стока по всем рассматриваемым рекам, за исключением р. Темир в створе с. Сагашили, тенденция которой имеет противоположную картину, то есть увеличение стока на 0,18 м³/с/10 лет. Для остальных рек бассейна сокращение составило от 0,04 до 1,07 м³/с/10 лет, из которых в большинстве случаев выявленные тренды в динамике речного стока статистически не значимы, значимым выявлен лишь тренд р. Ор в створе а. Богетсай.

Анализ хода атмосферных осадков по данным метеостанций в бассейне за современный период показал слабую тенденцию к уменьшению количества годовых осадков от 0,1 до 6 мм/10 лет. Исключение составила лишь МС Караулкелди, что согласуется с увеличением стока р. Темир в створе с. Сагашили в этот период, тенденция осадков является положительной с темпом роста на 15 мм/10 лет. Наибольшее повышение годовой суммы осадков отмечается для района левобе-

Характеристики линейного тренда расходов воды основных рек Жайык-Каспийского ВХБ за различные периоды

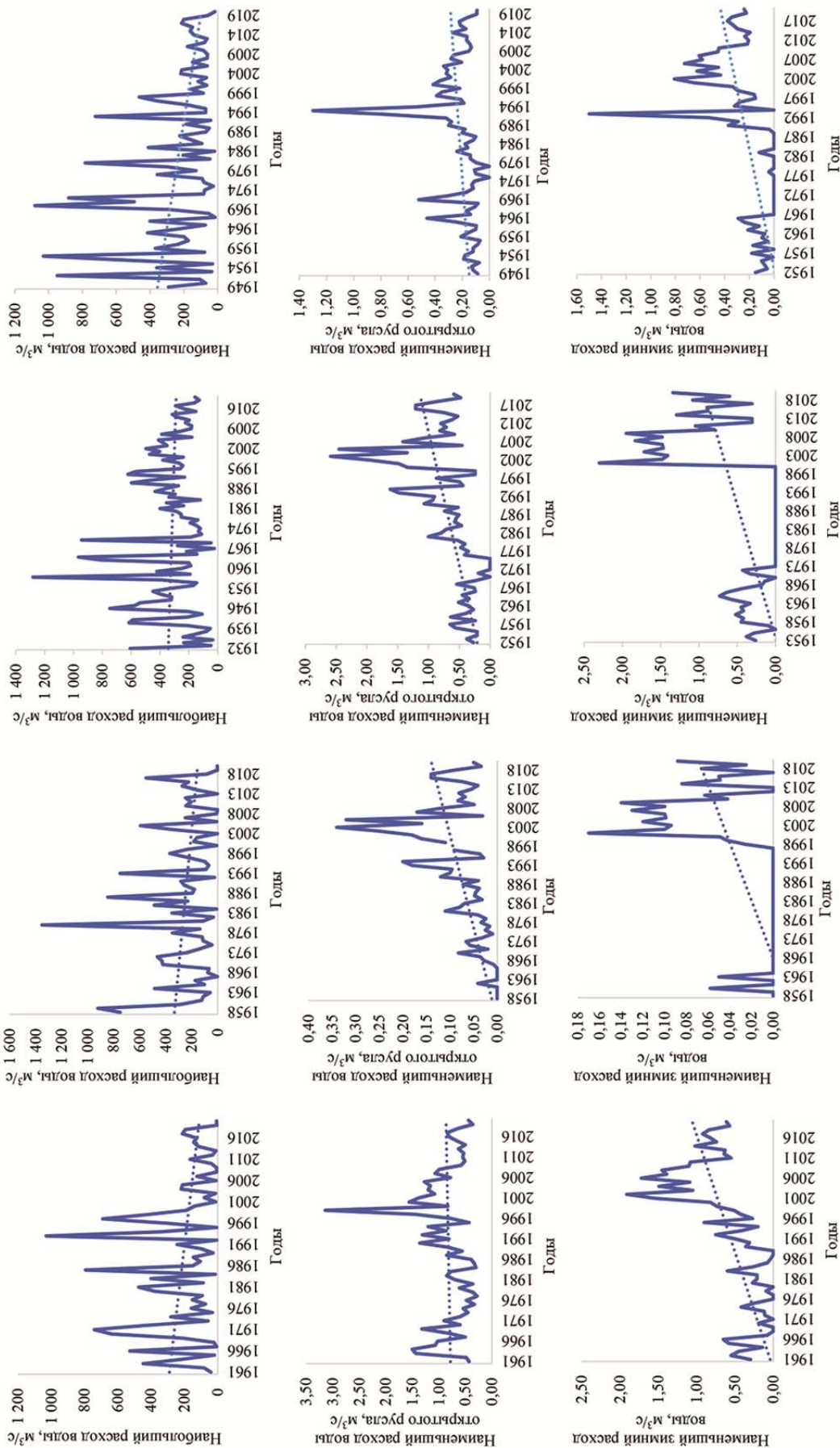
Река-пункт	Период	a	R ²	Значимость тренда
Р. Елек - с. Шелек	1940-2020	-3,35	9,3	+
	1940-1973	-9,39	7,7	-
	1974-2020	-1,07	0,8	-
Р. Улькен Кобда – а. Кобда (Новоалексеевка)	1940-2020	-0,58	9,2	+
	1940-1973	-1,48	6,9	-
	1974-2020	-0,24	1,0	-
Р. Косистек - а. Косистек	1940-2020	-0,06	3,3	-
	1940-1973	-0,04	0,5	-
	1974-2020	-0,13	4,9	-
Р. Ор - а. Богетсай	1940-2020	-0,39	6,0	+
	1940-1973	-1,43	9,6	-
	1974-2020	-0,68	9,9	+
Р. Шынгырлау (Утва) – с. Лубенка	1940-2020	-0,05	13,6	+
	1940-1973	-0,09	7,7	-
	1974-2020	-0,04	4,4	-
Р. Оленты - с. Жымпиты	1940-2020	-0,09	8,4	+
	1940-1973	-0,28	8,9	-
	1974-2020	-0,05	2,2	-
Р. Темир - с. Сагашали	1940-2020	-0,02	0,1	-
	1940-1973	-0,33	11,7	+
	1974-2020	0,18	6,4	-
Р. Ойыл - аул Алтыкарасу	1940-2020	-0,31	5,1	+
	1940-1973	-0,47	2,5	-
	1974-2020	-0,44	3,2	-
Р. Шаган - пос. Каменный	1940-2020	-0,20	1,4	-
	1940-1973	-1,81	13,0	+
	1974-2020	-0,20	0,8	-
Р. Сарыозен (Малый Узень) - а. Бостандык	1940-2020	-0,03	2,2	-
	1940-1973	-0,19	7,3	-
	1974-2020	-0,04	1,8	-

Примечание. a – коэффициент линейного тренда, м³/с/10 лет; R² – коэффициент детерминации, %.

режных притоков р. Жайык, однако, как и в предыдущем периоде, направленные тенденции осадков практически отсутствуют.

Тенденции изменений температуры воздуха, полученные по всем рассматриваемым метеостанциям бассейна за современный период, показали статистически значимую ярко выраженную тенденцию к увеличению. Темп потепления в бассейне составляет 0,22-0,51 °С за каждые 10 лет.

Таким образом, в многолетней динамике на всех реках Жайык-Каспийского ВХБ за условно-естественный и современный периоды выявлена тенденция к сокращению речного стока, за исключением р. Темир в створе с. Сагашали, сток которой имеет тенденцию к росту в современный период. Однако в большинстве случаев выявленные тренды в динамике речного стока региона статистически не значимы. Значимое сокращение стока отмечается лишь на реках Темир и Шаган в период 1940-1973 гг., а для периода 1974-2020 гг. значимым оказалось сокращение стока р. Ор в створе а. Богетсай. Также можно отметить резкий спад водности на большинстве рек в последнее двадцатилетие, начиная с 2000-х годов. Тенденции годовых сумм осадков в оба периода имеют разнонаправленный характер и не всегда согласуются с тенденциями стока. Температура воздуха в бассейне имеет тенденцию к увеличению, причем наибольший темп и значимые тренды повышения температуры воздуха приходятся на современный период (1974-2020 гг.) – до 0,51 °С/10 лет.



р. Ойыл - аул Алты-Карасу

р. Шаган - пос. Каменный

р. Ор - с. Богетсай

р. Ульянов Кобда - с. Кобда

Рисунок 4 – Многолетние колебания колебания наибольших, наименьших открытого русла и наименьших зимних расходов воды Жайык-Каспийского ВХБ

Согласно 8-му национальному сообщению и 5-му двухгодичному докладу Республики Казахстан Рамочной Конвенции ООН об изменении климата [20] и данным РГП «Казгидромет» [21] с 1970-х годов наблюдается статистически значимое потепление во все сезоны года. Сравнение средних многолетних значений температуры воздуха за два последовательных периода 1961-1990 и 1991-2020 гг. показывает, что в среднем по территории республики среднегодовая температура воздуха повысилась на 0,9 °С. Значительнее всего потеплели февраль и март – на 2,0 и 1,7 °С соответственно. Мало изменилась температура июля и декабря. Среднее по территории годовое количество осадков практически не изменилось, но в отдельные месяцы оно увеличилось максимально в феврале (на 15,6 %), при этом в сентябре и октябре количество осадков уменьшилось на 10,8 и 14,8 % соответственно [20]. Также прослеживается устойчивый рост количества летних дней с температурами выше 25 и 30 °С и ночей с температурами выше 20 °С, зимой сокращается количество суток с заморозками и с сильными морозами ниже минус 20 °С.

Рассмотрим динамику многолетнего хода наибольших расходов воды, наименьших расходов воды открытого русла и наименьших зимних расходов воды основных рек Жайык-Каспийского ВХБ за период с начала наблюдений по 2020 г. (рисунок 4).

В многолетнем ходе наибольших (максимальных) расходов воды на всех реках Жайык-Каспийского ВХБ прослеживается тенденция к уменьшению, при этом начиная с 2000-х годов значительно сокращается амплитуда колебаний. Статистически значимое сокращение наблюдается на левобережном притоке – р. Косистек (13,7 м³/с/10 лет) и на южной реке – р. Ойыл (42,6 м³/с/10 лет). По остальным рекам сокращение стока колеблется от 0,76 до 30,4 м³/с/10 лет.

В многолетней динамике наименьших расходов воды открытого русла (минимального стока летне-осенней межени) наблюдается тенденция к их увеличению для большинства рек бассейна. Значимые тренды выявлены для рек Шаган (0,14 м³/с/10 лет), Ор (0,02 м³/с/10 лет) и Темир (0,03 м³/с/10 лет).

В тенденция наименьших зимних расходов воды (минимального зимнего стока), являющихся, как правило, наименьшими в году, наблюдается статистически значимое увеличение на всех рассматриваемых реках (за исключением р. Шынгырлау): на левобережных притоках – р. Улькен Кобда (0,17 м³/с/10 лет), р. Ор (0,01 м³/с/10 лет), на реке южного района – р. Ойыл (0,07 м³/с/10 лет) и на правобережном притоке – р. Шаган (0,14 м³/с/10 лет).

Для малых рек и временных водотоков летне-осенний и зимний периоды являются периодами максимального истощения стока, во время которых характерны явления пересыхания и промерзания (нулевой сток).

Таким образом, анализ хронологического хода наибольших, наименьших открытого русла и наименьших зимних расходов воды Жайык-Каспийского ВХБ показал, что в многолетнем разрезе, начиная с 2000-х годов, прослеживается значительное сокращение как амплитуды колебаний максимальных расходов воды, так и их значений. В величинах наименьших летне-осенних и зимних расходов воды, напротив, прослеживается тенденция к росту, начало которой приходится на конец 1980-х – начало 1990-х годов.

Заключение. Анализ показал, что на рубеже 1970-1980-х годов на большинстве рек бассейна произошел переход от маловодного периода к многоводному, в 2000-х годах рост стока остановился и впоследствии на ряде рек сменился маловодным периодом. Аналогичные результаты получены в исследованиях [22, 23]. На основании данных ВМО и РГП «Казгидромет» [18, 19] потепление климата началось со второй половины XX века, в это же время интенсивно развивалась водохозяйственная деятельность в регионе. Таким образом, ряды речного стока Жайык-Каспийского ВХБ можно разделить на два периода: условно-естественный – до 1974 г. и современный – после 1974 г. Как за многолетний, так и за современный периоды отмечается тенденция к сокращению стока на фоне увеличения температуры воздуха (линейные тренды за многолетний период значимы на уровне 5 % вероятности), тенденция осадков имеет разнонаправленный характер. После 1970-х годов заметно уменьшился размах колебаний речного стока, также произошло перераспределение стока внутри года: за период половодья величина стока снизилась, сток зимней межени увеличился.

Исследование выполнено в рамках проекта программно-целевого финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан «Устойчивое развитие природно-хозяйственных и социально-экономических систем Западно-Казахстанского региона в контексте зеленого роста: комплексный анализ, концепция, прогнозные оценки и сценарии» (ИРН: BR21882122).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Piao S., Ciais P., Huang Y., Shen Z., Peng S., Li J., Zhou L., Liu H., Ma Y., Ding Y. et al. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China // *Nature*. – 2010. – No. 467. – P. 43-51.
- [2] Schneider C., Laize C. L. R., Acreman C., Florke V. How Will Climate Change Modify River Flow Regimes in Europe? // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* – 2013. – Vol. 17, No. 1. – P. 325-339.
- [3] IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 2013. – P. 78-409.
- [4] Yao J. Q., Yang Q., Mao W. Y., Xu X. B., Liu Z. H. Evaluation of the impacts of climate change and human activities on the hydrological environment in Central Asia // *J. Glaciol. Geocryol.* – 2016. – No. 38. – P. 222-230.
- [5] Kunkel K. E., Pielke R. A., Changon S. A. Temporal Fluctuations in Weather and Climate Extremes That Cause Economic and Human Health Impacts: a Review // *Bull. Am. Meteorol. Soc.* – 1999. – P. 1077-1098.
- [6] Бубин М. Н., Рассказова Н. С. Ритмичность многолетних колебаний стока рек как интегральный показатель изменчивости климата (на примере Урала). – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 279 с.
- [7] Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Ресурсы речного стока Казахстана. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод Западного, Северного, Центрального и Восточного Казахстана / Под науч. ред. Р. И. Гальперина. – Алматы, 2012. – Т. VII, кн. 1. – 684 с.
- [8] Давлетгалиев С. К., Медеу Н. Н. Сценарные прогнозы ресурсов стока рек Жайык-Каспийского бассейна по отдельным участкам // *Вестник КазНУ*. – 2017. – № 2(45). – С. 28-40.
- [9] Гидрологический ежегодник. – Л.: Гидрометеиздат, 1948-1982. – Т. 4, вып. 8-9.
- [10] Ресурсы поверхностных вод СССР. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. Урало-Эмбинский район. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – Т. 12, вып. 2. – 511 с.
- [11] Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество: Ежегодное издание. – Л.; СПб.; М., 1981-2014.
- [12] Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. – Алматы, 2000-2016. – Ч. 1, вып. 4.
- [13] Метеорологическая и гидрологическая базы данных [Электронный ресурс]. – URL: https://www.kazhydromet.kz/meteo_db (дата обращения: 10.11.2023).
- [14] Поляк И. И. Численные методы анализа наблюдений. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 211 с.
- [15] Поляк И. И. Методы анализа случайных процессов и полей в климатологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 255 с.
- [16] Сикан А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2007. – 279 с.
- [17] Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике: для инженеров и учащихся вузов. Изд. 13-е, испр. – М.: Наука, 1986. – 544 с.
- [18] Заявление ВМО о состоянии глобального климата в 2004 г. / ВМО. – Женева: Издательство ВМО, 2005. – №983. – 14 с. [Электронный ресурс]. – URL: <http://legacy-ipk.meteorf.ru/images/stories/literatura/wmo/983.pdf> (дата обращения: 20.11.2023).
- [19] Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана: 2021 г. – Астана: НИЦ РГП «Казгидромет», 2022. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/ezhegodnyy-byulleten-monitoringa-sostoyaniya-i-izmeneniya-klimata-kazahstana> (дата обращения: 10.12.2023).
- [20] Восьмое национальное Сообщение и пятый двухгодичный Доклад Республики Казахстан Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. – Астана, 2022. – 491 с.
- [21] Обзор об особенностях климата на территории Казахстана за 2022 год. – Астана: РГП «Казгидромет», 2023. – 40 с.
- [22] Бажиева А. М., Турсунова А. А. Временные закономерности колебаний речного стока Западного Казахстана // *Гидрометеорология и экология*. – 2012. – № 3. – С. 116-124.
- [23] Магрицкий Д. В., Кенжебаева А. Ж., Сивохиц Ж. Т., Павлейчик В. М. Научно-прикладное изучение стока рек в бассейне Урала в XX в. – начале XXI в. Часть 2. Трансграничное водопользование и водный режим устья Урала // *Вопросы степеведения*. – 2023. – № 2. – С. 17-42.

REFERENCES

- [1] Piao S., Ciais P., Huang Y., Shen Z., Peng S., Li J., Zhou L., Liu H., Ma Y., Ding Y. et al. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China // *Nature*. 2010. No. 467. P. 43-51.
- [2] Schneider C., Laize C. L. R., Acreman C., Florke V. How Will Climate Change Modify River Flow Regimes in Europe? // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2013. Vol. 17, No. 1. P. 325-339.
- [3] IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 2013. P. 78-409.
- [4] Yao J. Q., Yang Q., Mao W. Y., Xu X. B., Liu Z. H. Evaluation of the impacts of climate change and human activities on the hydrological environment in Central Asia // *J. Glaciol. Geocryol.* 2016. No. 38. P. 222-230.
- [5] Kunkel K. E., Pielke R. A., Changon S. A. Temporal Fluctuations in Weather and Climate Extremes That Cause Economic and Human Health Impacts: a Review // *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 1999. P. 1077-1098.
- [6] Bubin M. N., Rasskazova N. S. The rhythmicity of long-term fluctuations in river flow as an integral indicator of climate variability (using the example of the Urals). Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2013. 279 p. (in Russ.).

- [7] Water resources of Kazakhstan: assessment, forecast, management. The resources of the river flow of Kazakhstan. Renewable resources of surface waters of Western, Northern, Central and Eastern Kazakhstan / Edited by R. I. Galperin. Almaty, 2012. Vol. VII, book 1. 684 p. (in Russ.).
- [8] Davletgaliev S. K., Medeu N. N. Scenario forecasts of the flow resources of the rivers of the Zhayyk-Caspian basin by individual sections // Bulletin of the KazNU. 2017. No. 2(45). P. 28-40 (in Russ.).
- [9] Hydrological Yearbook. L.: Hydrometeoizdat, 1948-1982. Vol. 4, issue 8-9 (in Russ.).
- [10] Surface water resources of the USSR. The Lower Volga region and Western Kazakhstan. Ural-Embinsky district. L.: Hydrometeoizdat, 1970. Vol. 12, issue 2. 511 p. (in Russ.).
- [11] The State Water Cadastre. Surface and groundwater resources, their use and quality. The annual edition. L.: St. Petersburg; M., 1981–2014 (in Russ.).
- [12] The State Water Cadastre. Annual data on the regime and resources of land surface waters. Almaty, 2000–2016. Part 1, issue 4. (in Russ.).
- [13] Meteorological and hydrological databases [Electronic resource]. – URL: https://www.kazhydromet.kz/meteo_db (date of access: 11/10/2023).
- [14] Polyak I. I. Numerical methods for the analysis of observations. L.: Hydrometeoizdat, 1975. 211 p. (in Russ.).
- [15] Polyak I. I. Methods of analysis of random processes and fields in climatology. L.: Hydrometeoizdat, 1979. 255 p. (in Russ.).
- [16] Sikan A.V. Methods of statistical processing of hydrometeorological information. St. Petersburg: Publishing house of RGGMU, 2007. 279 p. (in Russ.).
- [17] Bronstein I. N., Semendyaev K. A. Handbook of mathematics: for engineers and university students / Ed. 13th, ispr. M.: Nauka, 1986. 544 p. (in Russ.).
- [18] WMO Statement on the state of the global climate in 2004 / WMO. – Geneva: WMO Publishing House, 2005. No. 983. 14 p. [Electronic resource]. – URL: <http://legacy-ipk.meteorf.ru/images/stories/literatura/wmo/983.pdf> (date of access: 11/20/2023).
- [19] Annual bulletin of monitoring the state and climate change of Kazakhstan: 2021 – Astana: SIC RSE "Kazhydromet", 2022. [Electronic resource]. – URL: <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/ezhegodnyy-byulleten-monitoringa-sostoyaniya-izmeneniya-klimata-kazahstana> (date of access: 12/10/2023).
- [20] The eighth national Communication and the fifth biennial Report of the Republic of Kazakhstan to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Astana, 2022. 491 p. (in Russ.).
- [21] Review of the climate features in Kazakhstan in 2022. Astana: RSE "Kazhydromet", 2023. 40 p. (in Russ.).
- [22] Bazhieva A.M., Tursunova A. A. Temporal patterns of fluctuations in river flow in Western Kazakhstan // Hydrometeorology and Ecology. 2012. No. 3. P. 116-124 (in Russ.).
- [23] Magritskiy D. V., Kenzhebaeva A. Zh., Sivohip Zh. T., Pavlechik V. M. Scientific and applied study of river flow in the Ural basin in the twentieth century - early 21st century. Part 2. Transboundary water use and the water regime of the Ural estuary // Questions of Steppe studies. 2023. No. 2. P. 17-42 (in Russ.).

А. Р. Загидуллина¹, Ж. Ж. Смагулов², Л. М. Биримбаева³, А. М. Сайлаубек^{*4}

¹Су ресурстары лабораториясының ғылыми қызметкері, жаратылыстану ғылымдарының магистрі («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; zagidullina_a_88@mail.ru)

²Су ресурстары лабораториясының аға ғылыми қызметкері, жаратылыстану ғылымдарының магистрі («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; zh.zh.smagulov@mail.ru)

³Су ресурстары лабораториясының ғылыми қызметкері, жаратылыстану ғылымдарының магистрі («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан), метеорология және гидрология кафедрасының PhD студенті (әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; birimbayeva_l@mail.ru)

^{4*}Су ресурстары лабораториясының кіші ғылыми қызметкері, жаратылыстану ғылымдарының магистрі («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан), метеорология және гидрология кафедрасының PhD студенті (әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; [gulima97life@gmail.com](mailto:gulina97life@gmail.com))

ЖАЙЫҚ-КАСПИЙ СУ ШАРУАШЫЛЫҒЫ БАССЕЙІНІНДЕ (АЛАБЫНДА) ҚАЛЫПТАСАТЫН НЕГІЗГІ ӨЗЕНДЕР АҒЫНЫНЫҢ КӨПЖЫЛДЫҚ ӨЗГЕРУ ҮРДІСТЕРІ

Аннотация. Жайық-Каспий су шаруашылығы алабының негізгі өзендер ағындысының тенденциясына бағытталған зерттеулер жүргізілді. Көпжылдық кезеңдегі өзен ағындысының орташа жылдық динамикасы, олардың 5 жылдық жылжымалы орташалануы, ауа температурасы мен жауын-шашын мөңдерінің өзен ағындысымен бірлескен кестелері, сондай-ақ сипатты (ең жоғары, қысқы және ашық арна жағдайындағы ең төменгі) су өтімдерінің көпжылдық динамикасы қарастырылды. Зерттеудің нәтижесі бойынша екі кезең анықталды: 1940 жылдан 1973 жылға дейін (шартты-табиғи) және 1974 жылдан 2020 жылға дейін (заманауи). Екі кезеңде де ауа температурасының жоғарылау фонында ағындының азаю тенденциясы байқалады, жауын-

шашын тенденциялары әртүрлі сипатқа ие. 1970 жылдан бастап жылдық ағындының тербеліс амплитудасының төмендеуі, 2000 жылдардан бастап - тербеліс амплитудасы мен максималды су өтімдері мәндерінің төмендеуі қатар көрініс берді. Ең төменгі жазғы-күзгі және қысқы су өтімі мәндерінде, керісінше, 1980 ж. соңы – 1990 ж. басында өсу тенденциясы орын алды. Кіші өзендер мен уақытша тоғандарда жазғы-күзгі және қысқы кезеңдерде – ағындының максималды сарқылу кезеңі айқын байқалады, бұл кезеңге кеуіп кету және кату (нөлдік ағынды) құбылыстары тән.

Түйін сөздер: тенденция, өзен ағындысының өзгеруі, климаттық өзгерістер, Жайық-Каспий алабы, сызықтық тренд, көпжылдық динамика, сипатты су өтімдері.

A. R. Zagidullina¹, Zh. Zh. Smagulov², L. M. Birimbayeva³, A. M. Sailaubek^{4*}

¹Researcher of the Laboratory of water Resources, Master of Natural Sciences
(JSC "Institute of Geography and Water Security", Almaty, Kazakhstan; zagidullina_a_88@mail.ru)

²Senior Researcher at the Laboratory of water Resources, Master of Natural Sciences
(JSC "Institute of Geography and Water Security", Almaty, Kazakhstan; zh.zh.smagulov@mail.ru)

³Researcher at the Laboratory of water Resources, Master of Natural Sciences
(JSC "Institute of Geography and Water Security", Almaty, Kazakhstan), PhD student of the Department of Meteorology and Hydrology (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; birimbayeva_l@mail.ru)

^{4*}Junior Researcher at the Laboratory of water Resources, Master of Natural Sciences
(JSC "Institute of Geography and Water Security", Almaty, Kazakhstan), PhD student of the Department of Meteorology and Hydrology (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; gulima97life@gmail.com)

TRENDS OF LONG-TERM CHANGES IN THE CHARACTERISTIC WATER FLOW RATES OF THE MAIN RIVERS OF THE ZHAIYK-CASPIAN WATER BASIN

Abstract. Studies were conducted aimed at the trends in the flow of the main rivers of the Zhaiyk-Caspian water basin. The average annual dynamics of river flow for a long period, their 5-year moving averages, joint tables of air temperature and precipitation values with river flow, as well as long-term dynamics of characteristic (highest, winter and lowest in open channel conditions) water flows were considered. According to the results of the research, two periods were distinguished: from 1940 to 1973 (conditionally natural) and from 1974 to 2020. (modern). In both periods, there is a tendency to reduce runoff against the background of an increase in air temperature, precipitation trends are multidirectional. Since the 1970s, there has been a decrease in the amplitude of fluctuations in annual runoff, since the 2000s there has been a decrease in both the amplitude of fluctuations and the values of maximum water flow. In the values of the lowest summer-autumn and winter water flow, on the contrary, there is a tendency to increase, which began in the late 1980s – early 1990s. For small rivers and temporary watercourses, the summer-autumn and winter periods are periods of maximum runoff depletion, during which drying and freezing phenomena (zero runoff) are characteristic.

Keywords: trend, changes in river flow, climatic changes, Zhaiyk-Caspian basin, linear trend, long-term dynamics, characteristic water flow.