

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-4-54-66.39>

МРНТИ 87.35.29

УДК 556.5.04

**Ж. С. Мустафаев^{*1}, А. Т. Козыкеева², У. Шугайып³,
К. Б. Абдешев⁴, Н. А. Турсынбаев⁵**

^{1*} Д. т. н., профессор, главный научный сотрудник

(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; z-mustafa@rambler.ru)

² Д. т. н., ассоциированный профессор (Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан; aliya270863@gmail.com)

³ Докторант PhD (Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан; Unzila8282@mail.ru)

⁴ PhD (Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова, Шымкент, Казахстан; abdeshev.kuanysh@mail.ru)

⁵ PhD (Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан; nurANT_78@mail.ru)

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕК БАСЕЙНА САРЫСУ В ПРОСТРАНСТВЕННЫХ И ВРЕМЕННЫХ АСПЕКТАХ

Аннотация. Выполнен анализ трендов среднегодового расхода воды рек для выявления региональных и локальных особенностей гидрологического режима. Построение трендов среднегодового расхода воды рек осуществлено при обработке временных рядов этих величин в программе Microsoft Excel, которая дает возможность получать регрессионные гидрологические модели в виде линейной функции от времени. Это позволило определить тенденцию и интенсивность изменения во временных аспектах, в рамках которых можно анализировать и прогнозировать динамику водных ресурсов на современном этапе и прогнозировать на будущее в процессе изменения климата.

Ключевые слова: река, гидрологический режим, расход воды, тренд, анализ, оценка, тенденция, уравнение регрессии, коэффициент корреляции.

Введение. Сложность физико-географических условий рек бассейна Сарысу обусловлена климатическими, гидрогеологическими, орографическими и гидрографическими характеристиками. Они определяют особенности формирования водных ресурсов всех рек, выполняющих важные средообразующие и экологические функции и являющиеся пространственными базами народонаселения и промышленности, в основном Карагандинской и Улытауской областей, а также частично Туркестанской, Кызылординской, Жамбылской и Актюбинской областей Республики Казахстан.

Средообразующую функцию рек водосбора бассейна Сарысу на юго-западе выполняют горный массив Улытау и Арганаты, на севере – Бугылы, Жаксы Тагылы, Космурын, Ортау и на северо-востоке – Аксоран, расположенные на приподнятых территориях Сарыарки, объединенных по принципу единства гидрогеохимических потоков и направленных на юг пустыни Бетпақдала, являющейся недействующей водосборной площадью, где теряется гидрологический сток.

Все реки бассейна Сарысу имеют преимущественно снеговое питание, что определяет особенности внутригодового распределения вод, то есть весь годовой сток в водотоках приходится на весенний период, который не совпадает с режимом водопотребности населения и промышленности. В этом аспекте изучение гидрологической особенности формирования водного ресурса имеет важное научное и практическое значение.

Существует большое количество работ по изучению гидрологического режима на территориях водосбора бассейна реки Сарысу, среди которых следует выделить такие, как:

– Ж. О. Озгелиновой, К. М. Джаналиевой, Ж. Т. Мукаевой, Г. Т. Оспан [1], где проанализированы природные факторы формирования геосистем бассейна реки Сарысу и на основе их

выявлены природно-климатические особенности развития процессов загрязнения геосистем в условиях интенсивной антропогенной деятельности;

– К. М. Акпамбетовой, Г. Б. Абиевой [2, 3], где показаны особенности формирования водных ресурсов Центрального Казахстана, и в том числе бассейна реки Сарысу;

– В. В. Голубцовой [4], где рассмотрен способ расчета нормы годового стока малых рек и временных водотоков в степных и полупустынных районах Республики Казахстан, базирующийся на зависимости показателя степени редукации нормы годового стока от площади водосбора речных бассейнов;

– А. К. Мусеновой [5], где рассмотрена методика определения среднего многолетнего стока малых рек в пределах Нура-Сарысуского водохозяйственного бассейна;

– Д. Жусипбекова, Д. Арыстанбековой [6], проанализированы в их статистические параметры стока весеннего половодья бассейна реки Сарысу, где основными факторами, формирующими кривую распределения и определяющими расчетные гидрологические характеристики, являются норма и коэффициент вариации стока;

– А. А. Турсуновой, М. Ж. Хазировой [7], где для оценки антропогенной нагрузки на водные ресурсы Нура-Сарысуского водохозяйственного бассейна коэффициент использования водных ресурсов или «water stress», базирующийся на комплексном применении методов гидрологической аналогии, водного баланса и способа определения безвозвратного водопотребления по отраслям экономики.

Проблема изменений гидрологического режима рек бассейна Сарысу, выполняющих важные средообразующие и экологические функции, стала в настоящее время как никогда актуальной. Создание банка гидрологических изменений позволит провести моделирование будущего состояния рек с целью территориальной организации природопользования.

Цель исследования – оценка тенденции и интенсивности изменения среднегодового расхода воды рек бассейна Сарысу, обеспечивающих анализ и прогноз динамики водных ресурсов на будущее в процессе изменения климата.

Объект исследований – бассейн реки Сарысу, где особенностью гидрографии являются редкая речная сеть и относительно большое количество временных водотоков, имеющих сток только в период весеннего снеготаяния. Истоки Сарысу находятся в горах Казахского мелкосопочника Центрального Казахстана. Она течет с севера на юг, имеет преимущественное снеговое питание и теряется в песках пустынь в районе озера Телеколь-Ащыколь. В бассейне реки Сарысу расположены Жанааркинский и Улытауский районы, города Жезказган, Каражал и Сатпаев Улытауской области, а также Актогайский и Шетский районы и города Балхаш и Приозерск Карагандинской области. Общая площадь бассейна составляет 306,914 км² с населением 379,404 тыс. человек.

Река Сарысу образовалась от слияния двух рек: Жаман Сарысу и Жаксы Сарысу, формирующих свой сток в горах Бугулы (высшая точка 1184 м – г. Буркитты), Жаксы-Тагылы, Космурын, Ортау (высшая точка 1084 м), расположенных на центральных приподнятых территориях Казахского мелкосопочника. Она тяготеет к Аральскому бассейну и впадает в озеро Телеколь Кызылординской области, длина бассейна составляет более 900 км и площадь – 136 628,54 км².

После слияния Жаман Сарысу и Жаксы Сарысу, река Сарысу принимает левобережные притоки Талды и Атасу, а ниже – правобережные притоки Кара Кенгира.

Река Кара Кенгир с притоками Жыланды, Жезды и Сары Кенгир берет начало в горах Улытау на юго-западе Казахского мелкосопочника, длина ее составляет 295 км, а водосборный бассейн – 18 400 км², она впадает в правый берег реки Сарысу в 50 км к югу от города Жезказгана.

Река Тоқырауын берет начало от слияния рек Нурланаша и Егизкойтас, формирующихся на высоте 901 м на севере гор Аксоран, длина ее составляет 298 км, площадь бассейна – 21 000 км², а река Мойынты берет начало на южном Казахском мелкосопочнике на высоте около 900 м и далее течет на юг в сторону озера Балкаш.

Материалы и методы исследований. Для выявления особенностей формирования гидрологического режима территории водосбора бассейна рек Сарысу проанализирована в пространственном и временном аспектах динамика стока рек Сарысу, Жаман Сарысу, Жаксы Сарысу, Атасу, Талды, Кара Кенгир, Жезды, Жыланды, Тоқырауын и Мойынты.

В нашей работе использованы материалы из работ: «Ресурсы поверхностных вод СССР, Центральный и Южный Казахстан (том 13)», «Карагандинская область (выпуск 1) в период 1932-1963 гг.», «Государственный водный кадастр», «Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод Республики Казахстан» (том V), «Бассейны рек озера Балхаш и бессточных районов Центрального Казахстана (выпуск 4) в период 1936-1999 гг.» и «Государственный водный кадастр Республики Казахстан. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод реки и каналы» (часть 1), «Бассейны рек Нура и Сарысу (выпуск 8) в период 2000-2021 гг.» [8-11].

При этом наиболее продолжительный период наблюдения за гидрологическим стоком в бассейне реки Сарысу имеют река Сарысу – разъезд № 189 (1941-2021 гг.) и село Кызылжар (1933-1985 и 2001-2021 гг.) Жаман Сарысу – село Айса (1952-1997 и 2009-2021 гг.), Жаксы Сарысу – село Сарысу (1932-1992 гг.), Атасу – село Коссагалы (1932-1962 и 1971-1992 гг.). Талды – село Кызылту (1942-2021 гг.), Кара Кенгир – устье реки Жыланды (1932-1986 и 2002-2021 гг.), Жезды – село Жезды (1939-1981 и 2002-2021 гг.), Жыланды – село Сатпаева (1938-1987 гг.), Токырауын – село Актогай (1932-2001 гг.) и Мойынты – село Киик (1942-1994 гг.).

При формировании базы данных по гидрологическому режиму рек бассейна Сарысу для восстановления пропущенных рядов использован метод построения линейно-регрессивного уравнения между двумя переменными на основе определения парных коэффициентов корреляции стока по годам для рек, расположенных в одинаковых физико-географических условиях [12, 13], характеризующих тесноту и приемлемость, которые изменяются в пределах $\pm 1,0$.

Положительные значения коэффициента соответствуют прямой, отрицательные значения – обратной связи. Критерии оценки тесноты связи: $R < 0,54$ – связи нет; $R = 0,55-0,64$ – слабая; $R = 0,65-0,74$ – допустимая; $R = 0,75-0,84$ – хорошая; $R = 0,85-0,98$ – тесная [6].

На основе геосистемного подхода реки бассейна Сарысу разделены на три группы с учетом гидрологического районирования, средней взвешенной высоты и типа питания (рисунки 1–3):

– реки бассейна Сарысу, формирующие в горах Бугулы, Жаксы Тагылы, Космурын, Ортау, расположенных в центральных приподнятых территориях Сарыарки; для рек Сарысу (разъезд № 189 и село Кызылжар), Жаман Сарысу (село Айса), Атасу (село Коссагалы) и Тамды (село Кызылту) в качестве аналога подошла река Жаксы Сарысу (село Сарысу), показавшая наиболее тесную связь ($R^2 = 0,6163-0,7534$);

– реки бассейна Кара Кенгир формируются в горах Улытау, расположенных в низкогорьях Сарыарки; для реки Жезды (село Жезды) в качестве аналога взята река Кара Кенгир (устье реки Жыланды), для реки Жыланды (село Сатпаев) – река Жезды (село Жезды), имеющих тесную связь ($R^2 = 0,6161-0,8322$);

– реки, протекающие в сторону озера Балхаш; для реки Мойынты (село Киик), взята река Токырауын (село Актогай), берущая начало в горах Аксоран южной части Сарыарки, а для реки Токырауын (село Актогай) – река Жаксы Сарысу (село Сарысу), формирующая на склонах Бугулы в пределах Казахского мелкосопочника, показывающая тесную связь ($R^2 = 0,6039-0,6984$).

Наиболее эффективным инструментом для оценки пространственно-временной закономерности гидрологических параметров речных бассейнов может служить специальная математическая модель, описывающая корреляционную линейную зависимость двух переменных (см. рисунки 1–3):

$$QP_i = \alpha \cdot QA_i + b,$$

где QP_i – среднегодовые расходы воды реки – поста, м³/с; QA_i – среднегодовые расходы воды реки-аналога, м³/с; α – угловой коэффициент регрессии; b – ордината отклонения прямой линии от нулевой точки графика.

На основе базы данных по гидрологическому режиму рек бассейна Сарысу получены корреляционные линейные уравнения для восстановления пропущенных во временных рядах значений средних годовых расходов в реках наблюдений (таблица 1).

Результаты, полученные в процессе анализа гидрологической информации, базирующиеся на уравнении регрессии по рекам Сарысуского бассейна, имеют научное и практическое значение, позволяют прогнозировать динамику водных ресурсов на будущее в процессе изменения климата.

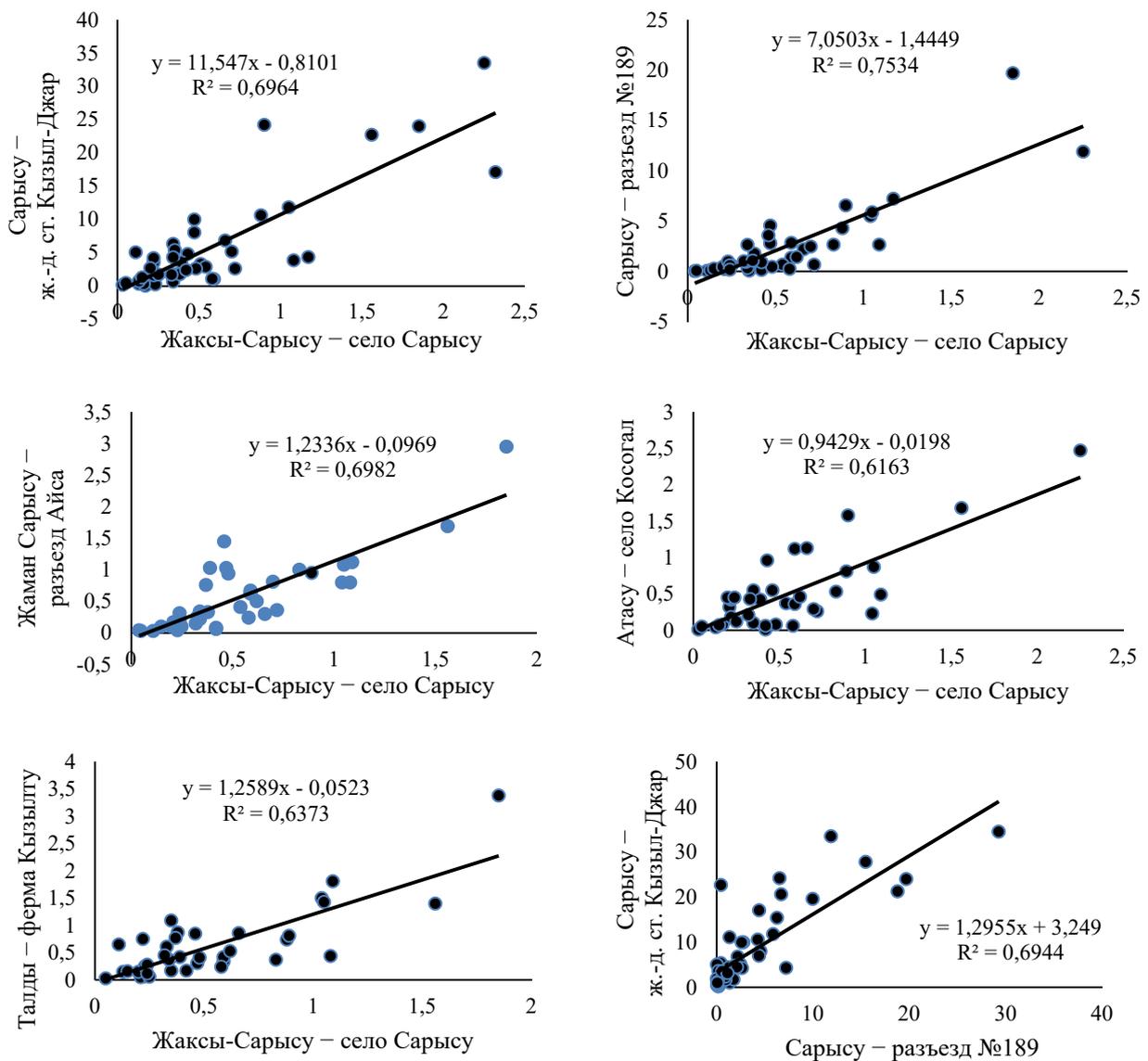


Рисунок 1 – Связь среднегодовых расходов по рекам бассейна Сарысу
 Figure 1 – Relation of average annual discharges by rivers of the Sarysu basin

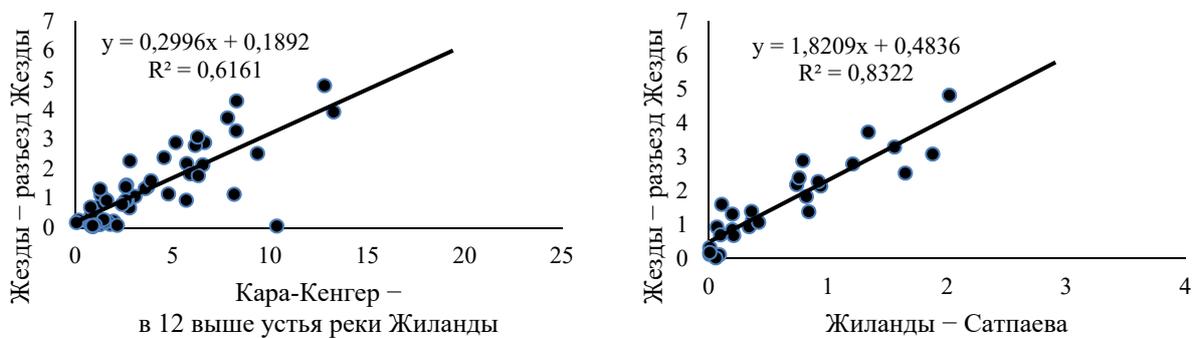


Рисунок 2 – Связь среднегодовых расходов по рекам бассейна Кара Кенгир
 Figure 2 – Relation of average annual discharge by rivers of the Kara Kengir basin

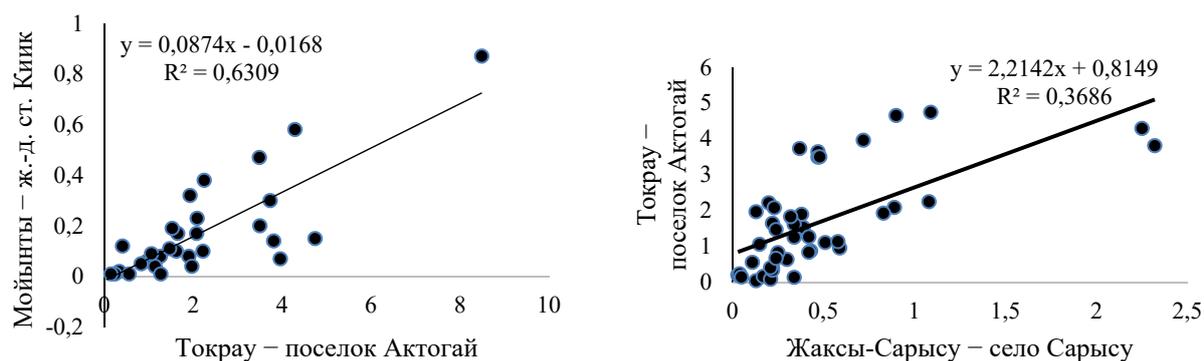


Рисунок 3 – Связь среднегодовых расходов по рекам бассейна Тоқырауын – Мойынты
 Figure 3 – Relation of average annual discharge by rivers of the Tokyrauyn – Moyinty basin

Таблица 1 – Регрессионные гидрологические модели, характеризующие зависимость среднегодовых расходов между гидрологическими постами и реками водосбора бассейна реки Сарысу

Table 1 – Regression hydrological models characterizing the dependence of mean annual discharge between hydrological stations and rivers of the Sarysu River basin catchment area

Гидрологический пост и река-аналог	Исследуемый пункт (река и гидрологический пост)	Уравнение регрессии	R_i^2
Жаксы Сарысу – село Сарысу	Сарысу – село Кызылжар	$QP_i = 11,5470 \cdot QA_i - 0,8101$	0,6964
	Сарысу – разъезд №189	$QP_i = 7,0503 \cdot QA_i - 1,4449$	0,7534
	Жаман Сарысу – село Айса	$QP_i = 1,2336 \cdot QA_i - 0,0969$	0,6982
	Атасу – село Коссагалы	$QP_i = 0,9429 \cdot QA_i - 0,0198$	0,6163
	Талды – село Кызылту	$QP_i = 1,2589 \cdot QA_i - 0,0523$	0,6373
	Тоқырауын – село Актогай	$QP_i = 2,2142 \cdot QA_i + 0,8149$	0,3686
Кара Кенгир	Жезды – село Жезды	$QP_i = 11,5470 \cdot QA_i - 0,8101$	0,6161
Жыланды – Сатпаев	Жезды – село Жезды	$QP_i = 11,5470 \cdot QA_i - 0,8101$	0,8322
Тоқырауын – Актогай	Мойынты – село Киик	$QP_i = 11,5470 \cdot QA_i - 0,8101$	0,6309
Сарысу – раз. №189	Сарысу – Кызылжар	$QP_i = 11,5470 \cdot QA_i - 0,8101$	0,6944
Сарысу – Кызылжар	Кара Кенгир – устья Жыланды	$QP_i = 0,3983 \cdot QA_i + 1,5999$	0,6202

Для оценки пространственных и временных закономерностей направленности и интенсивности изменений гидрологического режима рек бассейна Сарысу использована теория, базирующаяся на методе математической статистики, где обработка временных рядов и построение графиков изучаемых величин выполнены на основе линейного тренда в программе Microsoft Excel в рамках цифровой технологии:

$$QP_i = \alpha \cdot SNY_i + b,$$

где QP_i – среднегодовые расходы воды в реке, м³/с; α – коэффициент регрессии, показывающий изменение результата с изменением временного ряда на одну единицу; b – свободный параметр уравнении регрессии, показывающий минимальное значение временного ряда; SNY_i – номер периода или порядковый номер года в период прогнозирования или независимая переменная.

При изучении тенденции и изменения временного ряда изучаемого явления для характеристики интенсивности изменения во времени возникает необходимость определения таких статистических показателей, как:

– абсолютный прирост ($AISI_i$), характеризующий увеличение или уменьшение количественного значения временного ряда ($SIEP_{ei}$) в конце рассматриваемого периода ($EPUR_i$) по сравнению с его начальным значением ($SIBP_{bi}$) в рассматриваемом периоде ($BPUR_0 = 1 = const$), который определяется по уравнению: $AISI_i = SIEP_{ei} - SIBP_{bi} = \alpha \cdot (EPUR_i - 1)$;

– темп прироста исследуемого показателя ($QRIUS_i$) показывает относительную величину его абсолютного увеличения ($AISI_i$) за промежутков рассматриваемого периода, и рассчитывается по формуле $QRIUS_i = AISI_i/EPUR_i = [\alpha \cdot (EPUR_i - 1)]/EPUR_i$;

– коэффициент роста исследуемого показателя ($GRIUS_i$) представляет собой отношение количественного значения любого исследуемого показателя ($SIEP_{ei}$) в конце рассматриваемого периода ($EPUR_i$) к его начальному значению ($SIBP_{bi}$) в начале рассматриваемого периода ($BPUR_i$) и выражен следующей формулой: $GRIUS_i = SIEP_{ei}/SIEP_{bi} = (\alpha \cdot EPUR_i + b)/(\alpha \cdot BPUR_o + b) = (\alpha \cdot EPUR_i + b)/(\alpha + b)$.

Таким образом, полученная система корреляционных линейных уравнений для восстановления пропущенных временных рядов значений средних годовых расходов рек и предложенный методологический подход оценки тенденции и интенсивности изменения гидрологического режима рек, базирующийся на линейных трендах, в рамках определения абсолютного прироста, темпа прироста и коэффициента прироста в пространственных и временных аспектах на территории водосбора бассейна реки Сарысу, позволяющий при различных предположениях выявить направленности развития исследуемого процесса и получить ценную информацию для обоснования положительного или отрицательного заключения об устойчивости их гидрологического режима.

Результаты исследования. Наиболее эффективным инструментом для оценки тенденции и интенсивности изменения гидрологического режима речных бассейнов служит линейный тренд, описывающий динамику произвольных переменных во времени, которая для гидрологического исследования должна составить не менее 50 лет без пропусков наблюдений стока и включать годы с различной гидрологической обстановкой.

Вследствие отсутствия постоянных режимных гидрологических наблюдений за некоторыми реками бассейна Сарысу для оценки тенденции и интенсивности изменения их в пространственных аспектах с использованием регрессионной гидрологической модели, характеризующей зависимость среднегодовых расходов между гидрологическими постами и реками (см. таблицу 1), были восстановлены пропуски наблюдений за стоком за 1932–2021 годы, общая продолжительность которых составила 90 лет.

На основе созданной базы исследованы временные ряды по гидрологическому режиму рек Сарысу по гидрологическим постам: Разъезд №189 и село Кызылжар, Жаман Сарысу (село Айса), Жаксы Сарысу (село Сарысу), Атасу (село Косогалы), Тамды (село Кызылту), Кара Кенгир (устье реки Жыланды), Жезды (село Жезды), Жыланды (село Сатпаев), Токырауын (село Актогай) и Мойынты (село Киик). Графики в виде функции от времени с использованием линейного тренда построены в программе Microsoft Excel (рисунки 4–7). В результате получены гидрологические модели, позволяющие анализировать и прогнозировать исследуемые процессы (таблица 2).

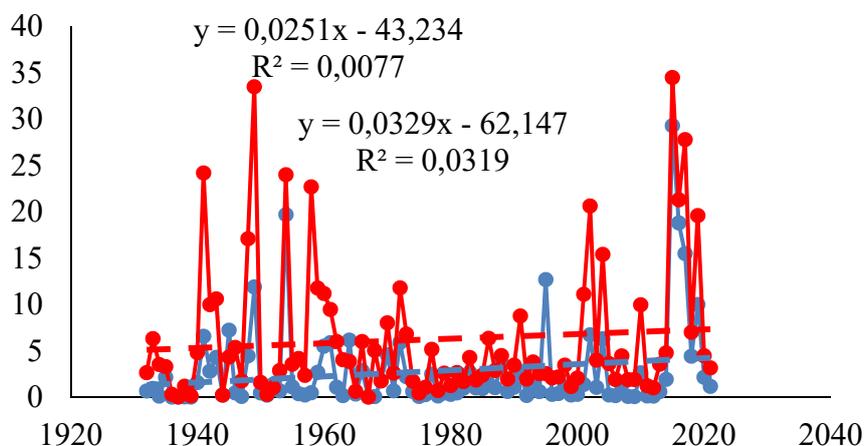


Рисунок 4 – График изменения среднегодового расхода воды реки Сарысу в гидрологических постах Разъезд №189 (1) и Кызылжар (2) за 1932–2021 годы и его линейный тренд

Figure 4 – Graph of change in the average annual water discharge of the Sarysu River at the hydrological posts Razyezd № 189 (1) and Kyzylzhar (2) for 1932–2021 and its linear trend

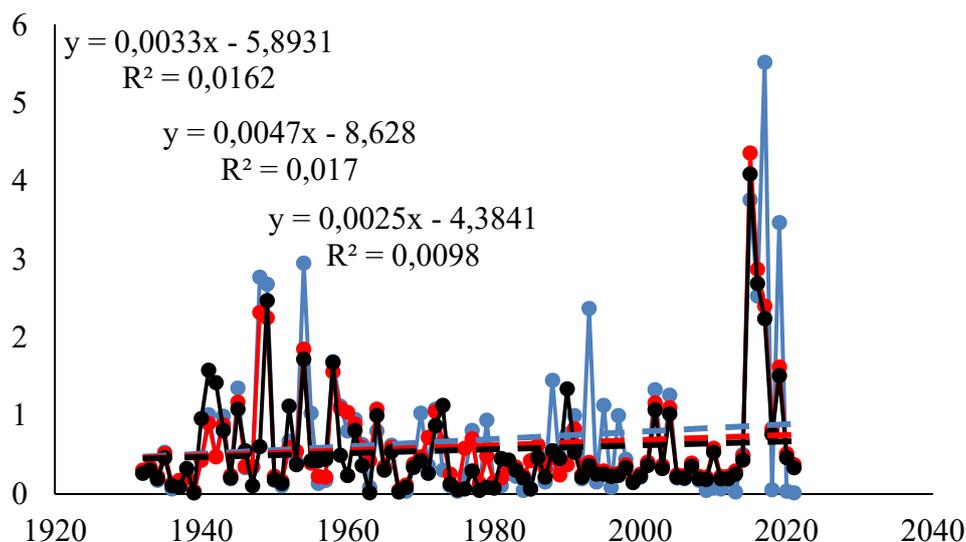


Рисунок 5 – График изменения среднегодового расхода воды рек Жаман Сарысу – село Айса (1), Жаксы Сарысу – село Сарысу (2) и Атасу – село Коссагалы (3) за 1932-2021 годы и его линейный тренд
 Figure 5 - Graph of change in average annual water discharge of the rivers Zhaman Sarysu – Aisa village (1), Zhaksy Sarysu – Sarysu village (2) and Atasu – Kossagaly village (3) for 1932-2021 and its linear trend

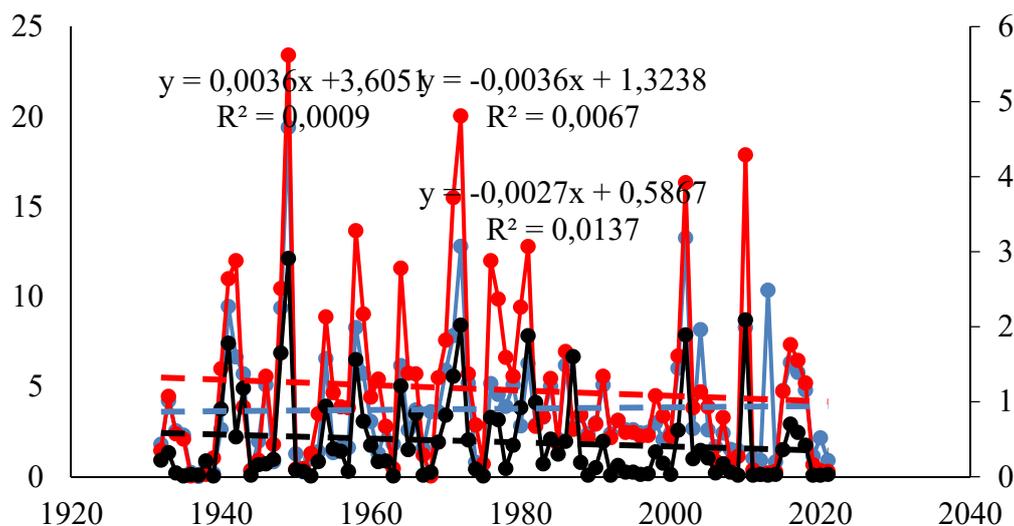


Рисунок 6 – График изменения среднегодового расхода воды рек Кара Кенгир – усть реки Жыланды (1 – левая ордината), Жезды – село Жезды (2 – правая ордината) и Жыланды – село Сатпаев (3 – правая ордината) за 1932-2021 годы и его линейный тренд

Figure 6 – Graph of change in the average annual water discharge of the rivers Kara Kengir – mouth of the Zhylandy River (1 – left ordinate), Zhezdy – Zhezdy village (2 – right ordinate) and Zhylandy – Satpayev village (3 – right ordinate) for 1932-2021 and its linear trend

Анализ гидрологических моделей показывает, что одной из важн особенностей, обеспечивающей тесную связь водосбора бассейна реки Сарысу, является характерный для всех рек процесс формирования максимального поверхностного стока, который наблюдается в период весеннего снеготаяния, и минимальн – за счет атмосферных осадков.

При этом гидрологическая модель, отражающая тенденции и интенсивности, выявленные при исследовании гидрологической динамики среднегодовых расходов воды рек бассейна Сарысу в ограниченном временном интервале, позволяет затем раздвинуть горизонты наблюдения за ними при неограниченном расширении временных рамок, тем самым помогает устранить неприятную неопределенность «периода достаточной продолжительности».

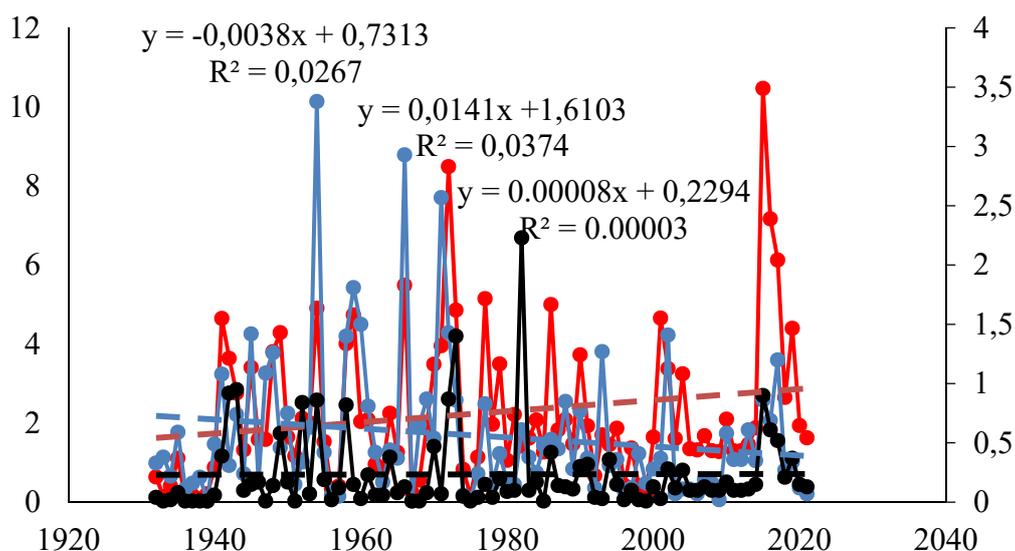


Рисунок 7 – График изменения среднегодового расхода воды рек Талды – село Кызылту (1 – правая ордината), Токрырауын – село Актогай (2 – левая ордината) и Мойынты – село Киик (3 – правая ордината) за 1940-2023 годы и его линейный тренд

Figure 7 – Graph of change in average annual water discharge of the rivers Taldy – Kyzyltu village (1 – right ordinate), Tokyrauyn – Aktogay village (2 – left ordinate) and Moyinty – Kiik village (3 – right ordinate) for 1940-2023 and its linear trend

Таблица 2 – Регрессионные гидрологические модели среднегодового расхода воды рек бассейна Сарысу
Table 2 – Regression hydrological models of average annual water discharge in the rivers of the Sarysu basin

Река и гидрологический пост	Уравнение регрессии	Индекс детерминации R^2
Сарысу – разъезд №189	$QP_i = 0,0329 \cdot SNY_i + 1,2891$	0,03190
Сарысу – село Кызылжар	$QP_i = 0,0251 \cdot SNY_i + 5,0811$	0,00780
Жаман Сарысу – село Айса	$QP_i = 0,0047 \cdot SNY_i + 0,4681$	0,01700
Жаксы Сарысу – село Сарысу	$QP_i = 0,0033 \cdot SNY_i + 0,4585$	0,01630
Атасу – село Коссагалы	$QP_i = 0,0025 \cdot SNY_i + 0,4449$	0,00990
Тамды – село Кызылту	$QP_i = -0,0038 \cdot SNY_i + 0,7313$	0,02670
Кара Кенгир – устье Жиланды	$QP_i = 0,0037 \cdot SNY_i + 3,6051$	0,00090
Жезды – село Жезды	$QP_i = -0,0036 \cdot SNY_i + 1,3238$	0,00660
Жыланды – село Сатпаев	$QP_i = -0,0027 \cdot SNY_i + 0,5867$	0,01360
Токрырауын – село Актогай	$QP_i = 0,0141 \cdot SNY_i + 1,6103$	0,03750
Мойынты – село Киик	$QP_i = -0,00009 \cdot SNY_i + 0,2294$	0,00004

Для анализа и оценки статистических характеристик рядов среднегодового расхода воды рек, расположенных в хронологической последовательности, возникает необходимость определить среднегодовой расход воды в начале и конце рассматриваемого периода, минимальное, максимальное и среднеарифметическое значения, характеризующие отклонение их от тренда (таблица 3).

На основе гидрологических моделей рек бассейна Сарысу для иллюстрации представленных мировоззренческих взглядов можно определить абсолютный прирост ($AISI_i$), темп прироста ($QRIUS_i$) и коэффициент роста ($GRIUS_i$) среднегодового расхода воды рек в качестве вспомогательных индикаторов, позволяющих получить естественнонаучное представление о тенденции и интенсивности их изменения в пространственных и временных аспектах (см. таблицу 2).

Таблица 3 – Гидрологический анализ динамики среднегодового расхода воды рек бассейна Сарысу за 1932-2021 годы
Table 3 – Hydrological analysis of the dynamics of average annual water discharge in the rivers of the Sarysu basin for 1932-2021

Река и гидрологический пост	Гидрологическая характеристика рядов среднегодового расхода воды рек за рассматриваемый период, м ³ /с				
	начало	конец	max	min	среднеарифметическое
Сарысу – Разъезд №189	0,67	1,17	6,73	0,01	2,78
Сарысу – село Кызылжар	2,65	3,17	34,5	0,16	6,22
Жаман Сарысу – село Айса	0,27	0,01	5,52	0,01	0,68
Жаксы Сарысу – село Сарысу	0,30	0,37	4,36	0,04	0,61
Атасу – село Косогалы	0,26	0,33	4,09	0,01	0,55
Тамды – село Кызылту	0,33	0,07	3,38	0,01	0,56
Кара Кенгир – устье Жыланды	1,80	0,90	19,40	0,27	3,77
Жезды – село Жезды	0,35	0,07	5,62	0,01	1,16
Жыланды – село Сатпаев	0,22	0,03	2,91	0,01	0,47
Токырауын – село Актогай	0,64	1,63	10,47	0,05	2,25
Мойынты – село Киик	0,04	0,13	2,23	0,01	0,23

Таблица 4 – Статистическая оценка тенденции изменения среднегодового расхода воды рек бассейна Сарысу
Table 4 – Statistical assessment of the trend of change in average annual water discharge in the rivers of the Sarysu basin

Река и гидрологический пост	Статистические показатели тенденции изменения во времени среднегодового расхода воды рек (QP_i)		
	$AISI_i$	$QRUS_i$	$GRIUS_i$
Сарысу – Разъезд №189	2,9281	0,0325	3,2149
Сарысу – село Кызылжар	2,2339	0,0248	1,4375
Жаман Сарысу – село Айса	0,4183	0,0046	1,8847
Жаксы Сарысу – село Сарысу	0,2937	0,0033	1,6360
Атасу – село Косогалы	0,2225	0,0025	1,4973
Тамды – село Кызылту	-0,3382	-0,0038	0,5351
Кара Кенгир – устье Жыланды	0,3293	0,0037	1,0912
Жезды – село Жезды	-0,3204	-0,0036	0,7573
Жыланды – село Сатпаев	-0,2403	-0,0027	0,5885
Токырауын – село Актогай	1,2549	0,0139	1,7725
Мойынты – село Киик	0,0080	0,0001	1,0349

Анализ динамики среднегодового расхода воды рек бассейна Сарысу показал, что за 1932-2021 годы тренды их неравнозначны, что может быть связано с их географическим и высотным положением и показателем типа питания:

– тенденция изменения среднегодового расхода воды реки Сарысу в створе гидрологического поста Разъезд №189 положительная, наблюдается их изменение от 0,67 до 1,17 м³/с, среднеарифметическая – 2,78 м³/с, максимальная – 6,73 м³/с и минимальная – 0,01 м³/с, абсолютный прирост составляет «+» 2,9281 м³/с, темп прироста – «+» 0,0325 м³/с и коэффициент роста – «+» 3,2149 за 90 лет;

– тенденция изменения среднегодового расхода воды реки Сарысу в створе гидрологического поста село Кызылжар положительная, наблюдается его изменение от 2,65 до 3,17 м³/с, среднеарифметическая – 6,22 м³/с, максимальная – 34,50 м³/с и минимальная -0,16 м³/с, абсолютный прирост составляет «+» 2,2339 м³/с, темп прироста – «+» 0,0248 м³/с и коэффициент роста – «+» 1,4375 за 90 лет;

– тенденция изменения среднегодового расхода воды реки Жаман Сарысу в створе гидрологического поста село Айса положительная, наблюдается его изменение от 0,27 до 0,01 м³/с, среднеарифметическая – 0,68 м³/с, максимальная – 5,52 м³/с и минимальная – 0,01 м³/с, абсолютный прирост составляет «+» 0,4183 м³/с, темп прироста «+» 0,0046 м³/с и коэффициент роста – «+» 1,8847 за 90 лет;

– тенденция изменения среднегодового расхода воды реки Жаксы Сарысу в створе гидрологического поста село Сарысу положительная, наблюдается его изменение от 0,30 до 0,37 м³/с, среднеарифметическая – 0,61 м³/с, максимальная – 4,36 м³/с и минимальная – 0,04 м³/с, абсолютный прирост составляет «+» 0,2937 м³/с, темп прироста – «+» 0,0033 м³/с и коэффициент роста – «+» 1,6360 за 90 лет;

– тенденция изменения среднегодового расхода воды реки Атасу в створе гидрологического поста село Коссагалы положительная, наблюдается его изменение от 0,26 до 0,33 м³/с, среднеарифметическая – 0,55 м³/с, максимальная – 4,09 м³/с и минимальная – 0,01 м³/с, абсолютный прирост составляет «+» 0,2225 м³/с, темп прироста – «+» 0,0025 м³/с и коэффициент роста – «+» 1,4973 за 90 лет;

– тенденция изменения среднегодового расхода воды реки Талды в створе гидрологического поста село Кызылту отрицательная, наблюдается его изменение от 0,33 до 0,07 м³/с, среднеарифметическая – 0,56 м³/с, максимальная – 3,38 м³/с и минимальная – 0,01 м³/с, абсолютный прирост составляет «-» 0,3382 м³/с, темп прироста «-» 0,0038 м³/с и коэффициент роста – «+» 0,5351 за 90 лет;

– тенденция изменения среднегодового расхода воды реки Кара Кенгир в створе гидрологического поста устья реки Жыланды положительная, наблюдается его изменение от 1,80 до 0,90 м³/с, среднеарифметическая – 3,77 м³/с, максимальная – 19,40 м³/с и минимальная – 0,27 м³/с, абсолютный прирост составляет «+» 0,3293 м³/с, темп прироста – «+» 0,0037 м³/с и коэффициент роста – «+» 1,0912 за 90 лет;

– тенденция изменения среднегодового расхода воды реки Жезды в створе гидрологического поста село Жезды отрицательная, наблюдается его изменение от 0,35 до 0,07 м³/с, среднеарифметическая – 1,16 м³/с, максимальная – 5,92 м³/с и минимальная – 0,01 м³/с, абсолютный прирост составляет «-» 0,3204 м³/с, темп прироста «-» 0,0036 м³/с и коэффициент роста «+» 0,7573 за 90 лет;

– тенденция изменения среднегодового расхода воды реки Жыланды в створе гидрологического поста село Сатпаев отрицательная, наблюдается его изменение от 0,22 до 0,03 м³/с, среднеарифметическая – 0,47 м³/с, максимальная – 2,91 м³/с и минимальная – 0,03 м³/с, абсолютный прирост составляет «-» 0,2403 м³/с, темп прироста – «-» 0,0027 м³/с и коэффициент роста – «+» 0,5885 за 90 лет;

– тенденция изменения среднегодового расхода воды реки Тоқырауын в створе гидрологического поста село Актогай положительная, наблюдается его изменение от 0,64 до 1,63 м³/с, среднеарифметическая – 2,25 м³/с, максимальная – 10,47 м³/с и минимальная – 0,05 м³/с, абсолютный прирост составляет «+» 1,2549 м³/с, темп прироста «+» 0,0139 м³/с и коэффициент роста «+» 1,7725 за 90 лет;

– тенденция изменения среднегодового расхода воды реки Мойынты в створе гидрологического поста село Киик положительная, наблюдается его изменение от 0,04 до 0,13 м³/с, среднеарифметическая – 0,23 м³/с, максимальная – 2,23 м³/с и минимальная – 0,01 м³/с, абсолютный прирост составляет «+» 0,0080 м³/с, темп прироста «+» 0,0001 м³/с и коэффициент роста «+» 1,0349 за 90 лет.

Анализ и оценка результатов исследования по изучению тенденций и интенсивности изменения среднегодового расхода воды рек бассейна Сарысу показали, что выявленные их тренды различаются как по знаку, так и по величине, обусловлены географическим расположением их водосбора и типом источника питания, снегового или дождевого.

При этом, несмотря на значительную вариабельность среднегодового расхода воды рек бассейна Сарысу, коэффициенты линейного тренда этих рек изменяются незначительно, что указывает на относительную стабильность водности рек, которая зависит от условий формирования гидрологического стока на низкогорных системах Сарыарки. Река течет с севера на юг и теряется в песках пустынь в районе озера Телеколь-Ащыколь.

Выводы. Оценка тенденций и интенсивности изменений гидрологических показателей в пространственных и временных аспектах с использованием информационно-аналитических данных 11 гидрологических постов по 10 рекам Сарысуского бассейна и рекам Жаксы Тагылы, Космурын, Ортау, Улытау и Аксоран Сарыарки, которые тяготеют к Аральскому и Балкашскому бассейну, за 1932-2021 годы позволила:

– на основе созданной базы исследования по среднегодовому расходу воды рек с использованием метода линейной корреляции между двумя переменными, которая широко используется в гидрологии для восстановления пропущенных рядов по данным о стоке реки-аналога, получить систему регрессионных гидрологических моделей с высокими коэффициентами корреляции ($R^2 = 0,6039-0,8322$);

– на основе использования регрессионной гидрологической модели, характеризующей зависимость среднегодовых расходов между гидрологическими постами и реками, восстановить пропуски наблюдений за среднегодовыми расходами воды рек Сарысу Жаман Сарысу, Жаксы Сарысу, Атасу, Тамды, Кара Кенгир, Жезды, Жыланды, Тоқырауын и Мойынты за период 1932-2021 годы, общая продолжительность которых составила 90 лет;

– на основе оценки тенденций и интенсивности изменения среднегодового расхода воды рек бассейна Сарысу созданы регрессионные гидрологические модели в виде линейной функции от времени, которые показали, что во всех реках тренды положительные и наблюдается их незначительное увеличение, если не учитывать отрицательных трендов, которые наблюдаются на реках Тамды, Жезды и Жыланды;

– на основе гидрологических моделей в виде линейных функций среднегодового расхода воды рек определить статистические характеристики временных рядов, представляющих среднегодовые расходы воды в начале и конце рассматриваемого периода, минимальное, максимальное и среднеарифметическое значения, абсолютный прирост, темп прироста и коэффициент роста исследуемых показателей, имеющих достаточно высокий физический и математический смысл, базирующийся на законе природы, позволяющий определить тенденцию изменения этих природных процессов.

Созданная база гидрологических показателей и база гидрологических изменений среднегодового расхода воды рек бассейна Сарысу, а также полученные регрессионные гидрологические модели для восстановления пропуска временных рядов и гидрологические модели в виде линейных функций среднегодового расхода воды рек для оценки тенденций и интенсивности изменения их статистических показателей, позволяют в какой-то мере анализировать и прогнозировать динамику водных ресурсов на современном этапе и прогнозировать на будущее в процессе изменения климата.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Озгелинова Ж. О., Джаналиева К. М., Мукаева Ж. Т., Оспан Г. Т. Природные факторы формирования и развития геосистем бассейна Сарысу // Гидрометеорология и экология. – 2017. – № 3. – С. 154-169.

[2] Акпамбетова К. М., Абиева Г. Б. Географические факторы размещения речных долин на территории Центрального Казахстана // Евразийский союз ученых (ЕСУ). – 2019. – № 4(61). – С. 26-31.

[3] Акпамбетова К. М., Шадский Е. Е. Географический анализ гидрологической сети Центрального Казахстана // География в школах и вузах Казахстана. – 2016. – № (69). – С. 9-12.

[4] Голубцов В. В. Определение нормы годового стока малых рек и временных водотоков засушливой зоны Казахстана // Гидрометеорология и экология. – 2007. – № 1. – С. 65-74.

[5] Мусенова А. К. Определение ресурсов поверхностных вод малых рек в Нура-Сарысуском водохозяйственном бассейне Республики Казахстан // Гидрометеорология и экология. – 2009. – № 1. – С. 28-32.

[6] Жүсіпбеков Д., Арыстанбекова Д. Сарысу алабы өзендерінің көктемгі ағындысының сипатамаларын бағалау // ҚазҰУ Хабаршысы. География сериясы. – 2017. – № 1(44). – С. 89-98.

[7] Турсунова А. А., Хазирова М. Ж. Антропогенная нагрузка на водные ресурсы Нура-Сарысуского водохозяйственного бассейна Казахстана // Сборник трудов V Международной научно-практической конференции «Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания». – Брест, 2022. – Ч. 2. – С. 203-208.

[8] Ресурсы поверхностных вод СССР, Центральный и Южный Казахстан (том 13), Карагандинская область (выпуск 1). – Ленинград: Гидрометеиздат, 1966. – 482 с.

[9] Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод Республики Казахстан (том V). Бассейны рек озера Балхаш и бессточных районов Центрального Казахстана (выпуск 4) (1936–1987). – Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1938–1989. – 258 с.

- [10] Государственный водный кадастр Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод Республики Казахстан (том V). Бассейны рек озера Балхаш и бессточных районов Центрального Казахстана (выпуск 4) (1988–2000). – Алматы, 1989–2002. – 258 с.
- [11] Государственный водный кадастр Республики Казахстан. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод реки и каналы (часть 1). Бассейны рек Нура и Сарысу (выпуск 8). – Алматы, 2003–2023. – 63 с.
- [12] Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик / А. В. Рождественский, А. Г. Лобанов (ред.). – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 447 с.
- [13] Владимирова А. М. Гидрологические расчеты: учебн. для вузов по спец. «гидрология суши». – Л.: Гидрометеоздат, 1990. – 364 с

REFERENCES

- [1] Ozgelinova Zh. O., Dzhanaliev K. M., Mukaeva Zh. T., Ospan G. T. Natural factors of formation and development of geosystems of the Sarysu basin // Hydrometeorology and ecology, 2017. № 3. P. 154-169 (in Russ.).
- [2] Akpambetova K. M., Abieva G. B. Geographical factors of placement of river valleys in the territory of Central Kazakhstan // Eurasian Union of Scientists (ESU). 2019. № 4(61). P. 26-31 (in Russ.).
- [3] Akpambetova K. M., Shadskiy E. E. Geographical analysis of the hydrological network of Central Kazakhstan // Geography in schools and universities of Kazakhstan. 2016. № 3(69). P. 9-12 (in Russ.).
- [4] Golubtsov V. V. Determination of the annual flow rate of small rivers and temporary watercourses in the arid zone of Kazakhstan // Hydrometeorology and ecology. 2007. № 1. P. 65-74 (in Russ.).
- [5] Musenova A. K. Determination of surface water resources of small rivers in the Nura-Sarysu water basin of the Republic of Kazakhstan // Hydrometeorology and Ecology. 2009. № 1. P. 28-32 (in Russ.).
- [6] Zhusipbekov D., Arystanbekova D. Assessment of characteristics of spring flow of rivers of Sarysu Basin // Bulletin of KazNU. Geography series. 2017. № 1(44). P. 89-98 (in Russ.).
- [7] Tursunova A. A., Khazirova M. Zh. Anthropogenic load on water resources of the Nur-Sarysu water management basin of Kazakhstan // Collection of works of the V International scientific-practical conference "Actual scientific, technical and environmental problems of habitat conservation". Brest, 2022. Part 2. P. 203-208 (in Russ.).
- [8] Surface water resources of the USSR, Central and Southern Kazakhstan (vol. 13), Karaganda region (issue 1). Leningrad: Gidrometeoizdat, 1966. 482 p. (in Russ.).
- [9] State water cadastre. Annual data on the regime and resources of surface waters Republic of Kazakhstan (vol. V). River basins of Lake Balkhash and endorheic regions of Central Kazakhstan (issue 4) (1936–1987). Obninsk: VNIIGMI–MCD, 1938–1989. 258 p. (in Russ.).
- [10] State Water Cadastre. Annual data on the regime and resources of surface waters Republic of Kazakhstan (vol. V). River basins of Lake Balkhash and endorheic regions of Central Kazakhstan (issue 4) (1988–2000). Almaty, 1989–2002. 258 p. (in Russ.).
- [11] State Water Cadastre of the Republic of Kazakhstan. Annual data on the regime and resources of surface waters of rivers and canals (part 1). River basins of the Nura and Sarysu (issue 8). Almaty, 2003-2023. 63 p. (in Russ.).
- [12] Manual for determining calculated hydrological characteristics / A. V. Rozhdestvensky, A. G. Lobanov (eds.). L.: Gidrometeoizdat, 1984. 447 p. (in Russ.).
- [13] Vladimirova A. M. Hydrological calculations: textbook for universities in the specialty "hydrology of land". L.: Gidrometeoizdat, 1990. 364 p. (in Russ.).

Ж. С. Мұстафаев^{*1}, Ә. Т. Қозықеева², У. Шугайым³, Қ. Б. Әбдешев⁴, Н. А. Тұрсынбаев⁵

^{1*} Т. ғ. д., профессор, бас ғылыми қызметкер

(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; z-mustafa@rambler.ru)

² Т. ғ. д., қауымдастырылған профессор (Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті университет, Алматы, Қазақстан; aliya270863@gmail.com)

³ Докторант PhD (Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан; Unzila8282@mail.ru)

⁴ PhD, қауымдастырылған профессор (М. Әуезов атындағы Оңтүстік-Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент, Қазақстан; abdeshev.kuanyshev@mail.ru)

⁵ PhD, қауымдастырылған профессор (Л. Н. Гумилев атындағы Евразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; nurANT_78@mail.ru)

САРЫСУ АЛАБЫНЫҢ ӨЗЕНДЕРІНІҢ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ РЕЖИМІН КЕҢІСТІК ЖӘНЕ УАҚЫТ ТҮРҒЫСЫНДА ТАЛДАУ ЖӘНЕ БАҒАЛАУ

Аннотация. Гидрологиялық режимнің аймақтық және жергілікті ерекшеліктерін анықтау мақсатында өзендердің орташа жылдық ағынының тенденцияларына талдау жүргізілді. Өзендегі орташа жылдық су ағынының тенденцияларын құру Microsoft Excel бағдарламасында осы мәндердің уақыттық қатарларын өңдеу арқылы жүзеге асырылады, бұл уақыттың сызықтық функциясы түріндегі регрессиялық гидрологиялық модельдерді алуға мүмкіндік береді. Бұл уақытша аспектідегі өзгерістердің бағыты мен қарқындылығын

анықтауға мүмкіндік берді, оның аясында қазіргі кезеңдегі су ресурстарының динамикасын талдауға және болжауға және климаттың өзгеруі процесінде болашақты болжауға болады.

Түйін сөздер: өзен, гидрологиялық режимі, су ағыны, тренд, талдау, бағалау, өзгеру бағыты, регрессиялық теңдеу, корреляция көрсеткіші.

Zh. S. Mustafayev^{*1}, A. T. Kozykeyeva², U. Shugayyp³, K. B. Abdeshev⁴, N. A. Tursynbayev⁵

^{1*} Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher

(JSC “Institute of Geography and Water Security”, Almaty, Kazakhstan; z-mustafa@rambler.ru)

² Doctor of Technical Sciences, Associate Professor (Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan; aliya270863@gmail.com)

³ PhD Candidate (Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan; Unzila8282@mail.ru)

⁴ PhD, Associate Professor (South Kazakhstan State University named after M. Auezov, Shymkent, Kazakhstan; abdeshev.kuanysh@mail.ru)

⁵ PhD, Associate Professor (L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; nurANT_78@mail.ru)

ANALYSIS AND ASSESSMENT OF VARIABILITY OF THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE RIVERS OF THE SARYSU BASIN IN SPATIAL AND TEMPORAL ASPECTS

Abstract. Trends in average annual river discharge were analyzed to identify regional and local features of the hydrological regime. Trends in average annual river discharge were derived by processing time series of these values in Microsoft Excel, which makes it possible to obtain regression hydrological models in the form of a linear function of time. This made it possible to determine the trend and intensity of change over time, within allowing for the analyze and forecasting of water resources dynamics in the present and future, considering the process of climate change.

Keywords: river, hydrological regime, water flow, trend, analysis, assessment, tendency, regression equation, correlation coefficient.