

М.М. Молдахметов¹, Л.К. Махмудова², Е. Құрманғазы³

¹Таразский инновационно-гуманитарный университет, Казахстан, г. Тараз

²Казахский национальный аграрный университет, Казахстан, г. Алматы

³Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Казахстан, г. Нур-Султан

Корреспондентский автор – М.М. Молдахметов, e-mail: mmoldahmetov64@mail.ru

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ СТОКА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ РЕК ЕСИЛЬСКОГО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАСЕЙНА

Рассмотрены основные характеристики стока весеннего половодья рек Есильского водохозяйственного бассейна (характерные даты весеннего половодья: дата начала половодья, дата пика половодья, дата окончания половодья и продолжительность половодья).

Нестационарность многолетних рядов характеристик весеннего стока рек бассейна Есиль и выявленные изменения водного режима обусловлены климатическими факторами. Анализ исходной информации по стоку и по характерным датам стока за половодье показывает наличие направленного изменения во временных рядах отдельных стоковых характеристик за период с 1970 г. по 1990 г., что явилось основной причиной неоднородности временных рядов.

Использованы кривые распределения для расчета статистических параметров рядов наблюдений и определения стока различной обеспеченности: распределение Крицкого-Менкеля и Пирсона III типа (для однородных рядов) и составные кривые распределения (для неоднородных рядов).

Проанализированы тенденции в изменениях стоковых характеристик весеннего половодья и рассчитаны параметры кривых обеспеченностей максимальных расходов воды и слоев стока в бассейне реки Есиль (использованы многолетние данные по 42 гидрологическим постам водохозяйственного бассейна).

Полученные результаты свидетельствуют, что изменения статистических параметров самых высоких вод в бассейне реки Есиль находятся под влиянием антропогенного фактора, а средние сдвиги их времени прохождения обусловлены только влиянием изменения климата.

Ключевые слова: характеристики весеннего половодья, половодье, объём половодья, суммарный слой стока за половодье, максимальный расход воды, модуль максимального стока весеннего половодья, многолетние изменения максимальных расходов воды весеннего половодья.

M. Moldakhmetov¹, L. Makhmudova², Y. Kurmangazy³

¹Taraz Innovation-Humanitarian University, Kazakhstan, Taraz

²Kazakh National Agrarian University, Kazakhstan, Almaty

³L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan, Nur-Sultan

Correspondent author – M. Moldakhmetov, e-mail: mmoldahmetov64@mail.ru

Statistical parameters of time series of spring runoff flood of rivers of the Yesil water-economic basin

The main characteristics of snowmelt flood runoff of the rivers of Yesil water-economic basin (dates of spring flood: starting date of flood, peak date flood end and date flood duration).

The nonstationarity of the long-term series of characteristics of the spring flow of the rivers of the Yesil basin and the revealed changes in the water regime are caused by climatic factors. Analysis of initial information on flow and characteristic dates for the flood flow shows the presence of directional changes at time series of separate flow characteristics for the period from 1970 to 1990, what was the main reason for the inhomogeneity of the time series.

The distribution curves are used in the calculations of statistical parameters and values of flow of different security: Kritsky-Menkell and Pearson type III distribution (for homogeneous series) and composite distribution curves (for inhomogeneous series).

Trends in changes in the spring flood runoff characteristics are analyzed and the parameters of the curves of maximum water flow and runoff layers in the Yesil river basin are calculated (long-term data on 42 hydrological posts of the water basin are used).

The results show that changes in the statistical parameters of the highest waters in the Yesil river basin are influenced by anthropogenic factors, and the average shifts in their passage time are due only to the influence of climate change.

Key words: characteristics of the spring flood, the flood, the volume of flow, the sum total layer runoff spring for the flood, maximum water flow, the module of the maximum runoff for spring floods, long-term changes of the maximum runoff of spring floods.

М.М. Молдахметов¹, А.К. Махмудова², Е. Құрманғазы³

¹Тараз инновациялық-гуманитарлық университеті, Қазақстан, Тараз қ.

²Қазақ ұлттық аграрлық университеті, Қазақстан, Алматы қ.

³А.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ.

Корреспонденттік автор – М.М. Молдахметов, e-mail: mmoldahmetov64@mail.ru

Есіл су шаруашылығы алабы өзендерінің көктемгі су тасу ағындысының уақыттық қатарларының статистикалық параметрлері

Есіл су шаруашылығы алабы өзендерінің көктемгі су тасу ағындысының негізгі сипаттамалары қарастырылды (көктемгі су тасудың сипаттық даталары: су тасудың басталу датасы, су тасу шыңының датасы, су тасудың аяқталу датасы және су тасу ұзақтығы).

Есіл алабы өзендерінің байқалған су режимі өзгерісі, көктемгі ағынды сипаттамаларының көпжылдық қатарының тұрақсыздығы климаттық факторлармен айқындалады. Көктемгі су тасу ағындысы және сипаттық даталар бойынша жиналған бастапқы ақпаратты талдау жекелеген ағынды сипаттамаларының уақыттық қатарларында 1970 жылдан 1990 жылдарға дейін бағыттық өзгерістердің бар екенін, оның уақыттық қатарлардың әртектілігін тудыруға себеп болғанын көрсетті.

Ағынды қатарларының статистикалық параметрлерін және қамтамасыздығы әртүрлі ағынды мәндерін есептеу кезінде Крицкий-Менкель үлестірімі және Пирсонның III типті биномдық үлестірім пайдаланылды (біртекті қатар үшін) және ағынды қатары әртекті болған жағдайда қамтамасыздығы әртүрлі ағынды мәндерін есептеу құрамдас үлестірім қисықтары бойынша жүргізілді.

Көктемгі су тасудың ағынды сипаттамаларының бағыттық өзгерістері талданып, Есіл алабы өзендерінің ең жоғары су өтімдері мен ағынды қабаттарының қамтамасыздық қисықтарының параметрлері есептелді (су шаруашылығы алабының 42 гидрологиялық бекеті бойынша көпжылдық деректер пайдаланылды).

Алынған нәтижелер, Есіл алабы өзендерінің ең мол суының статистикалық параметрлерінің өзгерісі антропогендік факторлардың ықпалында екенін, ал олардың орташаланған түсу даталарының ығысуы тек қана климаттық факторлардың әсерінен болғанын растайды.

Түйін сөздер: көктемгі су тасу сипаттамалары, су тасу, су тасу көлемі, су тасудың жиынтық ағынды қабаты, ең жоғары су өтімі, көктемгі су тасудың ең жоғары ағынды модулі, көктемгі су тасудың ең жоғары су өтімдерінің көпжылдық өзгерісі.

Введение

В столетии, в котором мы живем, наблюдаются глобальные изменения климата, которые влияют на формирование стока рек, их гидрологический режим. В качестве примера этого процесса служат чрезвычайные ситуации в Северном и Центральном Казахстане. В некоторых регионах водные ресурсы уменьшаются, возникают проблемы с бесперебойным водоснабжением населенных пунктов.

В Казахстане одна из важнейших проблем гидрологии – правильная оценка максимальных расходов воды редкой повторяемости (основной показатель наводнения).

По данным П.А. Плеханова (Плеханов П.А., 2004: 125), повторяемость чрезвычайных ситуаций, вызванных весенними половодьями и

дождевыми паводками, составляет около 30 % всех чрезвычайных ситуаций (это вдвое больше повторяемости чрезвычайных ситуаций от опасных метеорологических явлений). Число пострадавших людей от чрезвычайных ситуаций, вызванных весенними половодьями и дождевыми паводками, составляет более 50 % от суммарных по республике показателей по всем источникам чрезвычайных ситуаций. Поэтому на современном этапе развития Республики Казахстан одной из важнейших задач является уменьшение риска наводнений как одного из стратегических рисков.

В связи с этим для обеспечения устойчивого развития Республики Казахстан важно провести исследования по изучению изменения гидрологического режима в стратегически важных регионах с учетом изменения климата и антропоген-

ной нагрузки (Молдахметов М.М., 2018: 5).

Бассейн р. Есиль, который является объектом исследования, – один из регионов с такой значимостью. Более того, безопасность г. Нур-Султан является решающим вопросом, который требует безотлагательного решения в связи с ростом международной значимости столицы РК при проведении международных саммитов, выставок, как ЕХРО 2017.

Согласно исследованиям (Гальперин Р.И., 2012: 92), гидрологические условия Есильского водохозяйственного бассейна весьма специфичны (равнинный Казахстан находится на стыке бессточных районов Средней Азии – юга Казахстана и Западной Сибири, где сток устойчивый), в связи с этим местный сток формируется только в короткий период таяния снега (в связи с большой сухостью климата в рассматриваемом регионе). При этом условия формирования местного стока сильно различаются:

- в маловодные годы весь местный сток тратится на заполнение депрессий рельефа в руслах рек, сток настолько мал, что формируется он благодаря скоплению снега в руслах рек;

- в многоводные годы при переполнении депрессий рельефа дают сток в основное русло (дружная весна способствует поступлению талых вод в русла рек, вследствие этого – минимальные потери стока, высокое половодье).

Этим определяется специфичность гидрологических условий данного района – чрезвычайная неравномерность стока во времени как в многолетнем разрезе, так и в течение года. В связи с исключительной ролью снега в процессе формирования поверхностного стока основной фазой водного режима всех рек Есильского водохозяйственного бассейна является резко выраженное весеннее половодье.

По классификации Б.Д. Зайкова реки Есильского водохозяйственного бассейна относятся к казахстанскому типу, а по классификации М.И. Львовича – к району исключительно снегового питания: следовательно, годовой сток рек рассматриваемой территории формируется исключительно в период весеннего половодья (весенний сток составляет 90-95 % от годового стока) (Гальперин, 1997: 25).

Половодье – важнейшая фаза гидрологического режима. Основными элементами весеннего половодья являются: дата начала половодья, дата пика половодья, дата окончания половодья и продолжительность половодья.

Как было отмечено коллективом авторов (Георгиевский, 2015а: 98), (Георгиевский, 2015б:

94), дата начала и окончания половодья устанавливается по гидрографам стока. За начало половодья принимается первый день с заметным увеличением расхода воды, а за окончание половодья – день в конце кривой спада, когда интенсивность спада уже резко снизилась в результате окончания стока основного объема талых вод. Продолжительность половодья исчисляется от даты начала половодья включительно до даты окончания половодья.

Весеннее половодье в бассейне р. Есиль обычно начинается во второй половине марта – в начале апреля. В первые дни половодья интенсивность подъема уровней воды незначительная и доходит до 5-10 см в сутки, но затем интенсивность резко возрастает и в годы средние по водности достигает до 200 см в сутки. В многоводные годы при дружном снеготаянии (Moldakhmetov M., 2019: 7) половодье на реках Есильского водохозяйственного бассейна бывает очень интенсивным.

Спад весеннего половодья обычно происходит плавно, чем его подъем, и интенсивность спада бывает наибольшей только в первые дни после прохождения пика половодья и замедленной в последующие дни.

Продолжительность весеннего половодья на реках рассматриваемой территории в значительной мере зависит от площади водосбора водотока:

- на малых реках (площади водосборов порядка 500-3000 км²) половодье в среднем продолжается 20-30 суток;

- на средних реках (площади водосборов порядка 3000-30000 км²) половодье в среднем продолжается от 30 до 80 суток;

- на больших (площади водосборов порядка 40000 км² и более) половодье в среднем продолжается 50 и более суток.

Оканчивается весеннее половодье на малых и средних реках рассматриваемой территории в конце апреля – начале мая, на больших – в конце мая – в июне.

Исходные данные и методы исследования

В качестве исходных материалов для изучения характеристик стока весеннего половодья рек бассейна Есиль были использованы кадастровые данные РГП Казгидромет (Ресурсы поверхностных вод СССР, 1977: 262), (Ресурсы поверхностных вод СССР, 1980: 158), (Государственный водный кадастр, 1987: 334), (Государственный водный кадастр Республики Казахстан, 2002: 127), (Государственный водный

кадастр Республики Казахстан, 2004: 148).

Для анализа характеристик максимального стока весеннего половодья рек Есильского водохозяйственного бассейна исходными материалами послужили ежегодные данные по 42 гидрологическим постам. По всем рядам наблюдений произведен анализ основных элементов весеннего половодья (дата начала половодья, дата пика половодья, дата окончания половодья и продолжительность половодья).

При изучении и анализа динамики характеристик весеннего половодья в бассейне реки Есиль использовались материалы для каждого года: дата начала весеннего половодья, дата окончания весеннего половодья, дата пика половодья, дата наблюдения наивысшего максимального расхода воды, продолжительность весеннего половодья. Кроме того, использовались ряды максимальных расходов воды за период с 1933 по 2014 гг.

Для оценки однородности рядов максимальных расходов воды были выполнены расчеты по следующим критериям: t-критерий Стьюдента и F-критерий Фишера с использованием многолетних данных по 42 гидрологическим постам рассматриваемого региона. В ходе анализа выполненных расчетов установлено:

- 26 % рядов максимальных расходов воды являются неоднородными по t-критерию Стьюдента;

- 40 % рядов максимальных расходов воды являются неоднородными по F-критерию Фишера;

- в 17 % случаях ряды максимальных расходов воды не однородны по обоим критериям.

При расчетах статистических параметров и значений стока различной обеспеченности использованы кривые распределения: распределение Крицкого-Менкеля и Пирсона III типа (для однородных рядов) и составные кривые распределения (для неоднородных рядов) (Kendall, 1975: 171), (Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик, 1984: 88), (Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений, 2007: 35), (Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений, 2007: 39), (Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определение их расчетных значений по неоднородным данным, 2010: 14), (Георгиевский, 2015а: 65), (Георгиевский, 2015б: 59).

Результаты и обсуждение

Максимальные подъемы уровня воды во время весеннего половодья на реках рассматриваемой территории достигают значительной величины. Высота волны половодья в зависимости от водности года, размеров площади водосбора, характера русла и поймы и строения берегов реки меняется в значительных пределах.

Динамику изменения максимального расхода воды по длине р. Есиль в многоводные годы можно увидеть в таблице 1.

Проанализированы изменения Q_{\max} по длине реки в характерные годы – изменение Q_{\max} редкой повторяемости по длине р. Есиль сложное: сначала расход возрастает, потом снижается.

Для анализа использованы только наблюдаемые величины максимальных расходов воды. Между г. Нур-Султан и створом с. Каменный Карьер в Есиль впадают притоки Силеты, Жабай, Терсаккан. До створа с. Сергеевка впадают притоки Акканбурлук и Иманбурлук. Поэтому на этом участке в сравнении с верхним течением реки неизбежно нарастание величины Q_{\max} . Но ниже по течению происходит распластывание волны половодья. Определенную роль в распределении по длине реки величин Q_{\max} играют и водохранилища, но в целом характер этого изменения сложный.

До создания водохранилищ нарастание Q_{\max} происходило до среднего (в пределах Казахстана) течения. Таким образом, максимум расхода отмечался в районе поста с. Каменный Карьер. От с. Каменный Карьер к створу г. Петропавловск – уменьшение Q_{\max} , но это уменьшение очень различалось в разные годы: на 39 % – в 1949 г., на 21 % – в 1948 г. и всего лишь на 4,6 % в 1964 г., определенной закономерности нет.

После создания водохранилищ величины Q_{\max} значительно уменьшились. Так, в 1948 г. в створе с. Каменный Карьер зафиксировано 4760 м³/с, в 1949 г. – 3800 м³/с, в створе г. Петропавловск – соответственно 3750 и 2320 м³/с. После введения в строй водохранилищ самый большой расход в створе Каменного Карьера был 2900 м³/с (1983 г.), а в створе Петропавловска – 1710 м³/с (1994 г.).

Соответственно в створе г. Нур-Султан в ранние годы Q_{\max} достигал 1200 м³/с (1948 г.), а в последние 10-летия – почти вдвое меньше – 750 м³/с (1993 г.). Появились совсем небольшие значения Q_{\max} , до 1967 г. минимальный из Q_{\max} составил 14,8 м³/с (1936 г.), а с 1967 г. доходит до 1,79 м³/с (2000 г.) – 1,83 м³/с (1967 г.).

Таблица 1 – Характеристики весеннего половодья по длине р. Есиль

№	Река-пост	Период	Q _{max} , м ³ /с	Дата Q _{max}	Дата начало половодья	Дата окончания половодья	Продолжительность половодья
1	Есиль – с. Ударное	1949-1990	35,6	10.04	03.04	26.04	25
		1949-1973	34,1	11.04	03.04	29.04	27
		1974-1990	37,2	09.04	02.04	24.04	23
2	Есиль – г. Нур- Султан	1933-2014	226	16.04	05.04	16.05	41
		1933-1973	310	15.04	09.04	23.05	45
		1974-2014	149	17.04	01.04	08.05	38
3	Есиль – с. Каменный Карьер	1947-2014	815	19.04	04.04	11.06	73
		1947-1973	975	21.04	07.04	13.06	73
		1974-2014	722	18.04	02.04	09.06	72
4	Есиль – г. Петропавловск	1932-2014	699	01.05	09.04	07.07	92
		1932-1973	857	29.04	10.04	19.07	102
		1974-2014	549	03.05	07.04	23.06	78
5	Жабай – г. Атбасар	1937-2014	349	17.04	01.04	22.05	47
		1937-1973	395	17.04	28.03	20.05	43
		1974-2014	310	17.04	05.04	23.05	49

В настоящее время максимум Q_{\max} может наблюдаться в самых разных створах. В 1983 г. это с. Каменный Карьер – 2900 м³/с (1416 км от устья). Но примерно такой же Q_{\max} и ниже – в с. Западное – 2890 м³/с (1240 км от устья). В 2005 и 2007 гг. – максимум отмечался в створе с. Западное. В 1987 и 1994 гг. максимум отмечался в створе с. Сергеевка (1980 км от устья), в 1980 г. – в створе с. Новоникольское (885 км от устья). Но всегда в районе г. Петропавловск – уменьшение Q_{\max} .

В 1993 г. Q_{\max} отмечался в створе с. Волгодоновка (2299 км от устья) – 974 м³/с. Но этот год вообще не характерен, – здесь Q_{\max} мало меняется ниже с. Волгодоновка – в пределах 619 – 898 м³/с.

Таким образом, чёткие закономерности изменения максимального расхода воды вниз по течению отсутствуют как в период естественного стока, так и сейчас. Каждый створ надо обчитать отдельно (Молдахметов М.М., 2013: 71).

При расчёте за конкретные годы налицо очевидное уменьшение модуля максимального стока с площадью водосбора. При больших площа-

дях водосбора снижение M_{\max} так значительно, что расход уменьшается с ростом площади водосбора.

Анализ имеющихся материалов позволил определить среднюю дату начала и окончания половодья, среднюю дату самого высокого максимального расхода воды, самые ранние и самые поздние даты начала и окончания половодья, среднюю продолжительность весеннего половодья, и самый короткий и самый длинный интервал продолжительности весеннего половодья.

Интенсивный подъем уровня воды в среднем наблюдается в третьей декаде апреля. Самая ранняя дата начало половодья наблюдалась 14 марта в створ р. Есиль – с. Ударное. Самая поздняя дата наблюдалась 22 апреля на р. Есиль – г. Петропавловск.

На основе обработки и анализа исходных гидрометрических материалов рек бассейна Есиль были рассчитаны характеристики весеннего половодья за естественный период (1933-1973 гг.) и за период климатических изменений (1974-2014 гг.).

Были сопоставлены результаты расчетов, определены величины дат смещения начала и окончания половодья, изменение продолжительности весеннего половодья и изменение параметров максимального расхода воды.

Можно сделать вывод, что изменение статистических параметров самых высоких вод в бассейне реки Есиль находится под влиянием антропогенного фактора, а средние сдвиги их времени прохождения обусловлены только влиянием изменения климата. Действительно, среднегодовой сток реки Есиль и ее притоков значительно изменился за последние десятилетия по сравнению с предыдущим периодом.

Наблюдается раннее прохождение пика половодья. Осредненная дата прохождения пика половодья на р. Есиль – с. Ударное сдвинулась на два дня раньше, на три дня в створе с. Каменный Карьер, на четыре дня в створе г. Петропавловск по сравнению с периодом до 1973 г. (табл. 1).

На р. Жабай – г. Атбасар изменений нет, а максимальный расход воды на р. Жабай – с. Балкашино проходит на два дня раньше по сравнению с естественным периодом. Максимальный расход воды проходит на два-три дня позже на притоках р. Есиль рр. Акканбурлык, Иманбурлык, Бабыкбурлык.

Можно сделать следующий вывод о дате начала половодья в бассейне реки Есиль:

- в верхнем течении реки Есиль дата начала половодья наблюдается на 1 день раньше, по сравнению с естественным периодом;

- в створе гидрологического поста г. Нур-Султан – на 8 дней раньше, в среднем течении – на 5 дней;

- на 3 дня раньше в створе г. Петропавловск.

В верхнем течении реки Есиль весеннее половодье по сравнению с предыдущим периодом заканчивается в среднем на пять дней раньше, а в створе гидрологического поста г. Нур-Султан на 15 дней раньше, в среднем течении реки на 4 дня раньше, а в створе г. Петропавловск на 26 дней раньше. Это привело к сокращению срока продолжительности половодья реки Есиль. В верхнем течении реки Есиль продолжительность половодья была сокращена в среднем на 4 дня, в г. Нур-Султан – 7 дней, в Петропавловске – 24 дня. Раньше весеннее половодье в среднем продолжалось 102 дня в створе г. Петропавловск, а последние десятилетия половодье в среднем длится всего 78 дней. Интересно, что на реке Жабай таких изменений не наблюдается, наоборот, продолжительность половодья увеличилась на 6 дней.

Результаты проведенных расчетов дают возможность сделать следующие выводы, что наблюдается раннее наступление даты начала половодья и даты окончания половодья, в результате чего сокращается продолжительность половодья, при этом статистический анализ рядов максимальных расходов воды показывает, что наблюдаются направленные изменения.

Оценка однородности и стационарности гидрологических характеристик.

Чтобы снизить элемент субъективизма при экстраполяции кривых обеспеченности рассматриваемой характеристики используют теоретические кривые. В принципе эта практика исходит из предположения, что многолетние изменения рассматриваемой величины соответствуют определенному статистическому закону распределения вероятностей. Закон устанавливает связь между значениями исследуемой характеристики (в данном случае – максимального расхода воды – Q_{\max}) и ее повторяемости. Но... как писал один из активных инициаторов введения статистических методов в практику гидрологических расчетов Д.Л. Соколовский (Соколовский, 1968: 80), «...все математические схемы распределения являются в значительной степени формальными и представляют собой, по существу, лишь технический прием экстраполяции эмпирических кривых обеспеченности, т.е. являются математическим лекалом, применимым лишь постольку, поскольку они согласуются с опытными данными». А М. Дж. Кендалл и А. Стьюарт (Кендалл М. Дж., 1966: 384), к примеру, писали об использовании таких кривых в целях их «подгонки» к эмпирическим данным.

Таким образом, слово «закон» условно, это – всего лишь технический инструмент для описания статистического распределения, для лучшей «подгонки» к эмпирическим данным.

Однако нередко при обработке рядов максимальных расходов воды верхние точки, соответствующие самым высоким расходам, отклоняются вверх от теоретических кривых обеспеченности. И далеко не всегда увеличение коэффициента асимметрии (подбор C_s) исправляет положение, а зачастую полученная в результате таких действий кривая отклоняется уже от основной массы точек. Причина в данном случае в том, что эмпирическая обеспеченность верхних точек существенно отклоняется от теоретической кривой (по данному закону распределения). Видимо, во многих случаях «закон» неадекватно описывает верхнюю часть распре-

деления. И тогда, очевидно, следует отказаться от стандартных статистических приемов.

Согласно (Найденов В.И., 2002: 47), «... катастрофические наводнения, происходящие на нашей планете, не являются из ряда вон выходящими событиями, а имеют достаточно большую вероятность, и с этой вероятностью необходимо считаться». Далее – относительно применяемой расчетной методики: «Если использовать для стандартной обработки временных гидрологических рядов распределение из семейства экспоненциальных, как это рекомендуют (Строительные нормы и правила, 1983: 9), очевидно, катастрофические наводнения будут для нас всегда неожиданными» (Найденов В.И., 2003: 14). И затем: «Наводнения исключительной силы последних лет убедительно показали, что рассчитывать защитные дамбы, плотины и другие гидротехнические сооружения необходимо на основании иных вероятностных закономерностей». В частности, этими авторами предлагается степенной закон распределения.

Но вследствие разных условий формирования высоких и низких паводков ряды максимальных расходов воды часто бывают неоднородны. То есть две части ранжированного ряда подчиняются разным законам распределения. В этих случаях вообще сомнительна возможность успешного подбора единой кривой обеспеченности для всего такого ряда – независимо от того, какой закон распределения принять – логарифмически-нормальный или степенной.

Есть и другой путь «подгонки» теоретических кривых к эмпирическим данным. Это – усеченные кривые распределения, при применении которых добиваются соответствия эмпирических точек теоретической кривой лишь для интересующей нас части распределения. Для высоких расходов и уровней воды это – верхняя часть ранжированного ряда. Возможность использования усеченных распределений была рассмотрена в (Chen Y., 2014: 109) и в (Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик, 1984: 119) для неоднородного ряда, хотя никаких рекомендаций по его применению там не содержится. В новом российском Своде правил по проектированию и строительству (Свод правил СП 33-101-2003, 2004: 27) использование усеченных распределений рекомендовано применять для неоднородных рядов максимального стока. Но предлагаемая методика далеко небесспорна. В частности, предлагаются: фиксированная точка усечения, использование только нормального и гамма-распределения.

Согласно рекомендациям (Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определение их расчетных значений по неоднородным данным, 2010: 37), при использовании статистических методов в инженерных гидрологических расчетах в качестве одного из основных допущений предполагается статистическая однородность исходной пространственно-временной гидрометеорологической информации.

Анализ временной однородности необходимо выполнять при построении аналитических кривых распределения, включая оценку параметров и квантилей распределения, при анализе группировок лет различной водности.

Оценка однородности рядов слоев стока весеннего половодья (за период последних десятилетий 1974-2014 гг.) р. Есиль показала следующие результаты: по t-критерию Стьюдента неоднородными являются 12 % рядов, а по F-критерию Фишера – 50 %.

Весенний сток в последние десятилетия снизился по отношению к предшествующему многолетнему периоду на реках Силеты, Шагалалы и Есиль, на которых произошло снижение слоев весеннего половодья, отмечается и уменьшение дисперсии их колебаний (Рис. 1).

По реке Калкутан наблюдается увеличение весеннего стока по сравнению с предыдущим периодом, где отмечается увеличение дисперсии их колебаний.

Определение параметров распределения. Основной задачей исследования является определение параметров распределения по многолетним рядам максимальных расходов воды.

В ходе проведенных исследований для максимального стока весеннего половодья для всей рассматриваемой территории Есильского водохозяйственного бассейна получены следующие результаты:

1) модуль максимального стока весеннего половодья изменяется в пределах от 1,33 л/сек×км² до 244 л/сек×км²;

2) средняя квадратическая ошибка нормы стока не превышает 20 % (в среднем значение средней квадратической ошибки составляет 17 %);

3) коэффициент вариации C_v изменяется от 0,75 до 1,87;

4) средняя квадратическая ошибка расчета C_v изменяется от 7 % до 39 % (в среднем значение средней квадратической ошибки составляет 16,5 %);

5) значения коэффициента автокорреляции изменяются в пределах от 0,1 до 0,43 (среднее

значение коэффициента автокорреляции составляет 0,2).

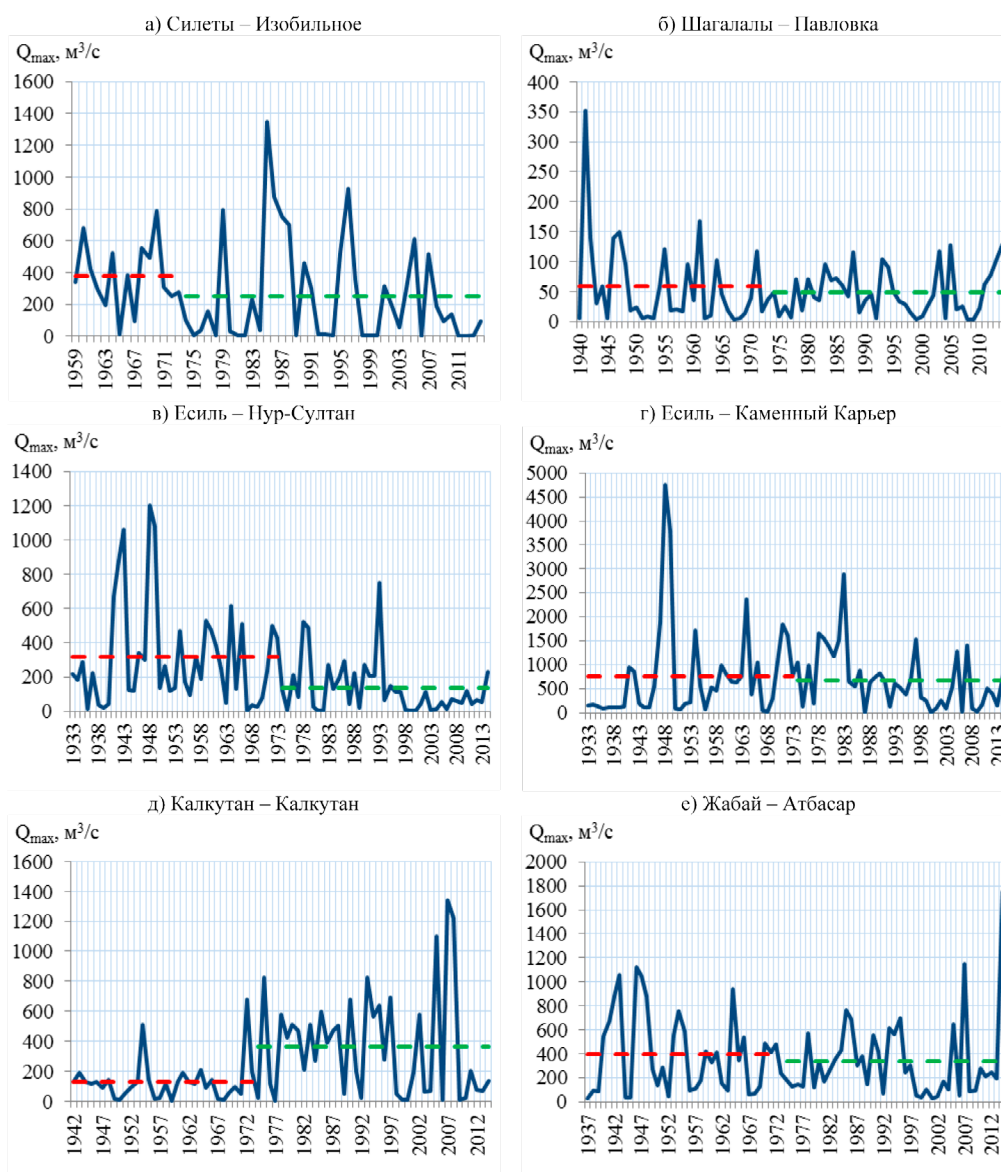


Рисунок 1 – Динамика многолетних изменений Q_{max} рек бассейна Есиль

В ходе проведенных исследований для слоя стока весеннего половодья для всей рассматриваемой территории Есильского водохозяйственного бассейна получены следующие результаты:

1) среднемноголетнее значение слоя стока весеннего половодья изменяется в пределах от 1 мм до 95 мм;

2) средняя квадратическая ошибка расчета слоя стока не превышает 10 %;

3) коэффициент вариации C_v изменяется от 0,50 до 1,15;

4) средняя квадратическая ошибка расчета C_v не превышает 20 % (в среднем значение средней квадратической ошибки составляет 18 %);

5) значения коэффициента автокорреляции изменяются в пределах от 0,06 до 0,48 (среднее значение коэффициента автокорреляции составляет 0,29).

Выводы

1. Изменение статистических параметров самых высоких вод в бассейне реки Есиль зависит

от антропогенного фактора, а средние сдвиги их времени прохождения обусловлены только влиянием изменения климата. Действительно, среднегодовой сток реки Есиль и ее притоков значительно изменился за последние десятилетия по сравнению с предыдущим периодом.

2. Наблюдается раннее прохождение пика половодья. Осредненная дата прохождения пика половодья на р. Есиль – с. Ударное сдвинулась на два дня раньше, на три дня в створе с. Каменный Карьер, на четыре дня в створе г. Петропавловск по сравнению с периодом до 1973 гг.

3. На р. Жабай – г. Атбасар изменений нет, а максимальный расход воды на р. Жабай – с. Балкашино проходит на два дня позже по сравнению с естественным периодом. Максимальный расход воды проходит на два-три дня позже и на притоках р. Есиль рр. Акканбурлык, Иманбурлык, Бабыкбурлык.

4. О дате начала половодья в бассейне реки Есиль можно сделать следующие выводы:

- в верхнем течении реки Есиль дата начала половодья наблюдается на 1 день раньше, по сравнению с естественным периодом;

- в створе гидропоста г. Нур-Султан на 8 дней раньше, в среднем течении на 5 дней;

- на 3 дня раньше в створе г. Петропавловск.

5. В верхнем течении реки Есиль весеннее половодье по сравнению с предыдущим периодом заканчивается в среднем на пять дней раньше, а в створе гидрологического поста г. Нур-Султан на 15 дней раньше, в среднем течении реки на 4 дня раньше, а в створе г. Петропавловск на 26 дней раньше. Это привело к сокращению срока продолжительности половодья реки Есиль.

6. Статистический анализ рядов максимальных расходов воды показывает, что в преобладающих случаях наблюдаются направленные изменения.

7. Главной особенностью изменения максимального стока является следующее – в гидрологических рядах максимальных расходов воды за последние десятилетия сократились наблюдения расходов воды с редкой повторяемостью и с низкой обеспеченностью, наоборот, в рядах максимального стока наблюдаются низкие значения расходов воды с очень высокой обеспеченностью (1967 г., 2000 г.).

8. На реке Жабай направленных изменений максимальных расходов воды не наблюдается.

9. Наблюдается раннее наступление даты начала половодья и даты окончания половодья, в результате чего сокращается продолжительность половодья.

Литература

- Birsan M.V., Molnar P., Burlando P., Pfaundler M. Streamflow trends in Switzerland [Article] // Journal of Hydrology. – 2005. – 314(1-4):312-329. – <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.06.008>.
- Chen Y. Water Resources Research in Northwest China [Book]. – Dordrecht: Springer Netherlands, 2014. – pp. 444.
- Kendall M.G. Rank Correlation Methods [Book]. – London: 4th Edition, Charles Griffin, 1975.
- Moldakhmetov M., Makhmudova L., Zhanabayeva Z., Kumeiko A., Hamid M.D., Sagin Jay Spatial and temporal variabilities of maximum snow depth in the Northern and Central Kazakhstan [Article] // Arabian Journal of Geosciences. – Heidelberg: Springer, 2019. – 12. – <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4505-y>.
- Гальперин Р.И. Материалы по гидрографии Казахстана [Книга]. – Алматы: Издательство Казак университеті, 1997. – С. 90.
- Гальперин Р.И., Давлетгалиев С.К., Молдахметов М.М., Чигринец А.Г., Махмудова Л.К., Авезова А. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод Западного, Северного, Центрального и Восточного Казахстана [Книга]. – Алматы: Арко, 2012. – Т. VII: С. 684.
- Георгиевский В.Ю. Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики рек бассейна Верхней Волги [Электрон. текстовые и граф. дан. в формате PDF]. – Ливны, 2015.
- Георгиевский В.Ю. Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики рек бассейна Кама [Электрон. текстовые и граф. дан. в формате PDF]. – Ливны, 2015.
- Государственный водный кадастр Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Бассейны Иртыша, Ишима, Тобола [Книга]. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. – Т. V: С. 467.
- Государственный водный кадастр Республики Казахстан Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши 1981-1990 гг. Бассейны рек Иртыш, Ишим, Тобол [Книга]. – Алматы: Казгидромет, 2002. – С. 284.
- Государственный водный кадастр Республики Казахстан Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши 1991-2000 гг. Бассейны рек Иртыш, Ишим, Тобол [Книга]. – Алматы: Казгидромет, 2004. – С. 171.
- Кендалл М.Дж., Стьюарт А. Теория распределений [Книга]. – М.: Наука, 1966. – С. 588.
- Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений [Книга]. – Нижний Новгород: Вектор-ТиС, 2007. – С. 133.

Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений [Книга]. – СПб.: Ротапринт, 2007. – С. 66.

Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определение их расчетных значений по неоднородным данным [Книга]. – СПб.: Нестор-История, 2010. – С. 162.

Молдахметов М.М. Махмудова Л.К. Основные гидрологические характеристики рек бассейна р. Есиль [Книга]. – Тараз: ТИГУ, 2018. – С. 157.

Молдахметов М.М. Махмудова Л.К., Мусина А.К., Тастанов Е.К. Есіл алабы өзендерінің көктемгі су фазасын сипаттамалары [Статья] // Вестник КазНУ. Серия географическая. – Алматы: Издательство Қазақ университеті, 2013. – №2(37). – С. 70–75.

Найденов В.И. Кожевникова И.А. Математические модели эффекта Харста [Статья] // Российская наука: дорога жизни. – М.: Октопус, 2002. – С. 44-58.

Найденов В.И., Кожевникова И.А. Почему так часто происходят наводнения? [Статья] // Природа. – Москва, 2003. – №9. – С. 12-20.

Плеханов П.А. Закономерности чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Казахстане [Статья] // Гидрометеорология и экология. – Алматы: Издательство Казгидромет, 2004. – №3. – С. 120-133.

Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик [Книга]. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. – С. 448.

Ресурсы поверхностных вод СССР Основные гидрологические характеристики (за 1963–1970 и весь период наблюдений). Бассейны Иртыша, Ишима, Тобола [Книга]. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1977. – Т. XV: С. 383.

Ресурсы поверхностных вод СССР Основные гидрологические характеристики (за 1971-1975 и весь период наблюдений). Бассейны Иртыша, Ишима, Тобола [Книга]. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1980. – Т. XV: С. 291.

Свод правил СП 33-101-2003 Определение основных расчётных гидрологических характеристик. [Книга]. – М.: Госстрой России, 2004. – С. 73.

Соколовский Д.Л. Речной сток [Книга]. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1968. – С. 539.

Строительные нормы и правила. Определение расчетных гидрологических характеристик. СНиП 2.01.14-83 [Книга]. – М.: Стройиздат, 1983. – С. 36.

References

Birsan M.V., Molnar P., Burlando P., Pfaundler M. Streamflow trends in Switzerland [Article] // Journal of Hydrology. – 2005. – 314(1-4):312-329. – <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.06.008>.

Chen Y. Water Resources Research in Northwest China [Book]. – Dordrecht: Springer Netherlands, 2014. – pp. 444.

Kendall M.G. Rank Correlation Methods [Book]. – London: 4th Edition, Charles Griffin, 1975.

Moldakhmetov M. Makhmudova L., Zhanabayeva Z., Kumeiko A., Hamid M.D., Sagin Jay Spatial and temporal variabilities of maximum snow depth in the Northern and Central Kazakhstan [Article] // Arabian Journal of Geosciences. – Heidelberg: Springer, 2019. – 12. – <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4505-y>.

Galperin R.I. Materialy po gidrografii Kazahstana [Materials on hydrography of Kazakhstan] [Книга]. – Алматы: Izdatelstvo Kazak universiteti, 1997. – str. 90.

Galperin R.I. Davletgaliev S.K., Moldakhmetov M.M., Chigrinec A.G., Makhmudova L.K., Avezova A. Vozobnovlyaemye resursy poverhnostnyh vod Zapadnogo, Severnogo, Centralnogo i Vostochnogo Kazahstana [Renewable resources surfaces waters of Western, Northern, Central and Eastern Kazakhstan] [Книга]. – Алматы: Arko, 2012. – Т. VII: str. 684.

Georgievskij V.Yu. Nauchno-prikladnoj spravochnik: Osnovnye gidrologicheskie harakteristiki rek bassejna Verhnej Volgi [Scientific and Applied Reference: The main hydrological characteristics river basins of the Upper Volga River] [Elektron. tekstovye i graf. dan. v formate RDF]. – Livny, 2015.

Georgievski V.Yu. Nauchno-prikladnoj spravochnik: Osnovnye gidrologicheskie harakteristiki rek bassejna Kama [Elektron. tekstovye i graf. dan. v formate PDF]. – Livny, 2015.

Gosudarstvennyj vodnyj kadastr Mnogoletnie dannye o rezhime i resursah poverhnostnyh vod sushi. Bassejny Irtysha, Ishima, Tobola [State water cadastre. Multi-term data on land surface water regime and resources] [Книга]. – Ленинград: Gidrometeoizdat, 1987. – Т. V: str. 467.

Gosudarstvennyj vodnyj kadastr Respubliki Kazahstan Mnogoletnie dannye o rezhime i resursah poverhnostnyh vod sushi 1981-1990 gg. Bassejny rek Irtysh, Ishim, Tobol Tobol [State water cadastre of the Republic of Kazakhstan. Long-term data on the regime and resources of land surface waters 1981-1990] [Книга]. – Алматы: Kazgidromet, 2002. – str. 284.

Gosudarstvennyj vodnyj kadastr Respubliki Kazahstan Mnogoletnie dannye o rezhime i resursah poverhnostnyh vod sushi 1991-2000 gg. Bassejny rek Irtysh, Ishim, Tobol [State water cadastre of the Republic of Kazakhstan. Long-term data on the regime and resources of land surface waters 1991-2000] [Книга]. – Алматы: Kazgidromet, 2004. – str. 171.

Kendall M.Dzh., Styuart A. Teoriya raspredelenij [Distribution theory] [Книга]. – Moskva: Nauka, 1966. – str. 588.

Metodicheskie rekomendacii po opredeleniyu raschetnyh gidrologicheskikh harakteristik pri nalichii dannyh gidrometricheskikh nablyudenij [Methodological recommendations for determining the calculated hydrological characteristics in the presence of hydro-metric observations] [Книга]. – Nizhnij Novgorod: Vektor-TiS, 2007. – str. 133.

Metodicheskie rekomendacii po opredeleniyu raschetnyh gidrologicheskikh harakteristik pri nedostatochnosti dannyh gidrometricheskikh nablyudenij [Methodological recommendations for determining the calculated hydrological characteristics in case of insufficient data of hydrometric observations] [Книга]. – СПб: Ротапринт, 2007. – str. 66.

Metodicheskie rekomendacii po ocenke odnorodnosti gidrologicheskikh harakteristik i opredelenie ih raschetnyh znachenij po neodnorodnym dannym [Methodological recommendations for assessing the homogeneity of hydrological characteristics and determination of their calculated values from inhomogeneous data] [Kniga]. – SPb: Nestor-Istoriya, 2010. – str. 162.

Moldakhmetov M.M. Makhmudova L.K. Osnovnye gidrologicheskie harakteristiki rek bassejna r. Esil [The main hydrological characteristics of the rivers of the Yesil basin] [Kniga]. – Taraz: TIGU, 2018. – str. 157.

Moldakhmetov M.M. Makhmudova L.K., Musina A.K., Tastanov E.K. Esil alaby özenderiniң көкtemgi su fazasyң sipattamalary [Characteristics of spring flood rivers of Yesil river basin] [Statya] // Vestnik KazNU. Seriya geograficheskaya. – Almaty: Izdatelstvo Kazak universiteti, 2013. – №2(37). – str. 70-75.

Najdenov V.I. Kozhevnikova I.A. Matematicheskie modeli effekta Harsta [Mathematical models of the Hurst effect] [Statya] // Rossijskaya nauka: doroga zhizni. – Moskva: Oktopus, 2002. – str. 44-58.

Najdenov V.I., Kozhevnikova I.A. Pochemu tak chasto proishodyat navodneniya? [Why do floods happen so often?] [Statya] // Priroda. – Moskva, 2003. – №9. – str. 12-20.

Plehanov P.A. Zakonomernosti chrezvyčajnyh situacij prirodnogo i tehnogennogo haraktera v Kazahstane [Regularities of emergency situations of natural and technogenic character in Kazakhstan] [Statya] // Gidrometeorologiya i ekologiya. – Almaty: Izdatelstvo Kazgidromet, 2004. – №3. – str. 120-133.

Posobie po opredeleniyu raschetnyh gidrologicheskikh harakteristik [The manual for determining the calculated hydrological characteristics] [Kniga]. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1984. – str. 448.

Resursy poverhnostnyh vod SSSR Osnovnye gidrologicheskie harakteristiki (za 1963-1970 i ves period nablyudenij). Bassejny Irtysya, Ishima, Tobola [Surface water resources of the USSR. Main hydrological characteristics (for 1963-1970 and the entire period of observations)] [Kniga]. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977. – T. XV: str. 383.

Resursy poverhnostnyh vod SSSR Osnovnye gidrologicheskie harakteristiki (za 1971-1975 i ves period nablyudenij). Bassejny Irtysya, Ishima, Tobola [Surface water resources of the USSR. Main hydrological characteristics (for 1971-1975 and the entire period of observations)] [Kniga]. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1980. – T. XV: str. 291.

Svod pravil SP 33-101-2003 Opredelenie osnovnyh raschyotnyh gidrologicheskikh harakteristik. [Determination of the main calculated hydrological characteristics] [Kniga]. – Moskva: Gosstroj Rossii, 2004. – str. 73.

Sokolovskij D.L. Rechnoj stok [River flow] [Kniga]. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1968. – str. 539.

Stroitelnye normy i pravila. Opredelenie raschetnyh gidrologicheskikh harakteristik. SNiP 2.01.14-83 [Determination of the main calculated hydrological characteristics] [Kniga]. – Moskva: Strojizdat, 1983. – str. 36.