

УДК 556.164.048

Р.К. Ащанова¹**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМЫ И ИЗМЕНЧИВОСТИ СТОКА РЕК
БАСЕЙНА РЕКИ НУРЫ**

Ключевые слова: норма стока, изменчивость стока, бассейн реки Нура, оценка водных ресурсов, коэффициент ассиметрии, восстановление естественного стока

Рассмотрен бассейн р. Нуры, выполнено удлинение рядов наблюдений за стоком и восстановление пропусков в наблюдениях на основных гидропостах, восстановлен естественный сток р. Нуры у с. Р. Кошкарбаев, выбран репрезентативный расчетный период и определены обновленные статистические характеристики стока рек бассейна р. Нуры.

Нура берет начало в центральной части Казахского мелкосопочника в западных отрогах Каркаралинских гор, на высоте 1060 м абс, впадает в бессточное озеро Тенгиз на отметке 304,4 м абс. Длина 866 км. Площадь водосбора 60 800 км², без бессточного бассейна р. Жарлы, тяготеющего к бассейну р. Нуры, 55 100 км². Бессточные области занимают 6500 км² – 12 % всего водосбора. Общее падение реки 756 м, средний уклон 0,77 ‰ [11, 12].

Наиболее крупные притоки: р. Ащису, р. Шерубаи Нура, р. Улькенкундызды. Исследуемый бассейн р. Нуры расположен на территории Карагандинской (83 % от площади водосбора реки) и Акмолинской (17 %) областей, которые являются экономически и социально активно развивающимися, и нуждающиеся в воде для нормальной работы различных отраслей экономики региона.

Водные ресурсы бассейна Нуры не велики и распределены крайне неравномерно. На сегодняшний день в бассейне существует дефицит воды, и по оценкам экспертов он будет только увеличиваться. Дефицит оказывает значительное воздействие на качество жизни населения и состояние экосистем, а также может повлиять на перспективы экономического роста государства [1]. Поэтому для их эффективного использования очень важно располагать сведениями об их величине в целом по бассейну реки, а

¹ РГП «Казгидромет», г. Астана, Казахстан

также в пределах его отдельных речных суббассейнов. Достоверная оценка ежегодных ресурсов речного стока водохозяйственных бассейнов Республики Казахстан является одной из важнейших задач реализации Государственной программы управления водными ресурсами Казахстана на 2014...2040 годы (указ Президента РК от 04 апреля 2014 года №786), цель которой – обеспечение водной безопасности Республики Казахстан и эффективное управление водными ресурсами [1].

Для решения прикладных задач в области проектирования и строительства различных гидротехнических сооружений для оценки и рационального использования водных ресурсов в целях устойчивого развития региона, страны и отдельных административных районов, для мониторинга экологического состояния речных бассейнов необходимо иметь достаточно полные сведения о гидрологических характеристиках и режиме водных объектов. В связи с этим возникает необходимость определения ежегодных значений стока, установление расчетных параметров: среднего многолетнего стока – нормы стока, коэффициента вариации и коэффициента асимметрии. Норма годового стока, или средний многолетний сток, является основной и устойчивой характеристикой, определяющей общую водность рек и потенциальные водные ресурсы данного бассейна или района. Она служит своего рода гидрологическим «эталоном», от которого исходят при определении других характеристик стока.

Последние исследования по определению нормы и изменчивости стока проводились в 1960-х годах прошлого века в рамках гидрологических исследований ГГИ в Карагандинской области. В связи с кратковременностью наблюдений за стоком на имеющихся на то время в бассейне гидростворах, и большой изменчивостью стока рек бассейна не было возможности оценить норму годового стока. Поэтому при анализе многолетнего хода водности были вынуждены использовать ряды наблюдений на реках в сопредельных районах, а также пользовались результатами ранее проведенных исследований ГГИ в соседних областях. Расчетный период был выбран с 1892 по 1960 гг. [11], по реке аналогу Иртыш у г. Тобольска (69 лет) и опорным пунктам Нура у с. Р. Кошкарбаева (44 года) и Кара-Кенгир – 5 км выше устья Жиланды (29 лет). Прошло больше 50 лет и опорные гидропосты бассейна имеют более продолжительные ряды наблюдений, что позволяет пересчитать норму стока с учетом нового расчетного периода и изменчивости стока.

Таким образом, цель исследования – определение нормы и изменчивости стока бассейна реки Нура.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Удлинение имеющихся рядов наблюдений за стоком и восстановление пропусков в наблюдениях на основных гидропостах;
2. Расчетным путем восстановлен естественный сток р. Нуры;
3. Определены статистические характеристики стока в исследуемых створах – норма стока, коэффициент вариации (изменчивость стока) и коэффициент ассиметрии.

Гидрологическая изученность бассейна р. Нуры. Сведения о стоке рек заимствованы из опубликованных кадастровых материалов, приведенных в «Гидрологических ежегодниках», «Основных гидрологических характеристиках», «Ежегодных данных о режиме и ресурсах поверхностных вод суши», «Многолетних данных о режиме и ресурсах поверхностных вод суши», «Ресурсах поверхностных вод», по бассейну рек Нура и Сарысу» [2, 3, 4, 5, 10, 11, 13].

В бассейне р. Нуры за режимом стока функционировало 70 пунктов наблюдений. Продолжительность периодов наблюдений (число лет с полными данными) от 1...2 до 79 лет (р. Нура – с. Р. Кошкарбаева).

В качестве основных опорных пунктов для приведения рядов наблюдений к многолетнему периоду приняты следующие гидропосты: р. Нура – с. Шешенкара (Пролетарское), р. Нура – ж.-д. ст. Балыкты (с. Сергиопольское), р. Нура – с. Р. Кошкарбаева (Романовское), р. Шерубайнура – с. Карамурун.

В бассейне р. Нуры данные по расходам воды имеются по 19 постам. Действующими являются 6 постов. Сведения гидрологической изученности рек бассейна приведены в табл. 1.

Таблица 1
Основные сведения о гидрологической изученности рек бассейна р. Нуры

Река – пост	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км ²	Период действия	
			открыт	закрыт
р. Нура – с. Бес-Оба	894	1050	18.06.1959	действует
р. Нура – с. Шешенкара	785	13980	02.04.1951	действует
р. Нура – с. Балыкты	705	17960	26.10.1973	действует
р. Нура – с. Чкалово	672	19600	01.12.1976	1991
р. Нура – с. Волковское	614	36400	28.06.1930	22.02.1944

Река – пост	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км ²	Период действия	
			открыт	закрыт
р. Нура – с. Меркеле	576	32000	01.01.1968	01.01.1970
р. Нура – с. Акмечеть	550	36800	26.10.1975	действует
р. Нура – с. Р. Кошкарбаева	369	50760	14.04.1915	действует
р. Нура – с. Коргальджин	182	46932	01.11.2009	действует
р. Нура – с. Алмаз	85.0	54200	15.08.1979	1990
р. Акбастау – с. Жанаул	47.0	452	01.11.1949	1991
р. Тузды – с. Красная Шапочка	18.0	497	15.10.1948	31.12.1957
р. Шерубайнура – раз. Карамурын	102	8700	01.08.42 (01.01.51)	действует
р. Шерубайнура – с. Шопан	142	5875	27.10.2006	действует

В связи с наличием пропусков наблюдений за стоком возникла необходимость в восстановлении его значений за отдельные годы. При восстановлении пропусков и удлинении рядов наблюдений использовалась корреляционная связь стока с реками аналогами, а также связи внутри рядов наблюдений [6, 8, 14]. Для восстановления использовались зависимости, имеющие коэффициент корреляции более 0,8. В табл. 2 приведены сведения о восстановлении пропусков в рядах наблюдений за стоком по отдельным пунктам в бассейне р. Нуры.

Таблица 2

Сведения о восстановлении годового стока рек по отдельным пунктам бассейна р. Нуры

Уравнение зависимости	Коэффициент корреляции, r	Период расчета зависимости	Количество лет	Восстановленные годы
р. Нура – с. Р. Кошкарбаева / р. Нура – с. Балыкты				
$Q = 2,58 \cdot Q_a + 0,4$	0,88	1916...2007	92	2005, 2006 (2)
р. Куланотпес – с. Кургальджинское / р. Шерубайнура – раз. Карамурын				
$Q = 1,26 \cdot Q_a + 0,25$	0,90	1956, 1963...1981, 1983...1986, 1988...1989, 1991, 1995	28	2005...2015 (11)

Уравнение зависимости	Коэффициент корреляции, г	Период расчета зависимости	Количество лет	Восстановленные годы
<p>р. Кон – с. Бирлик / р. Куланотпес – с. Кургальджинское</p> $Q = 0,61 \cdot Q_a + 0,41$	0,95	1964...1965, 1968...1973, 1975...1980, 1982, 1986	14	1956, 1959, 1963, 1966, 1967, 1981, 1988, 1990...2000, 2006, 2008...2015

Примечание: Q_a – среднегодовой расход воды по гидропосту – аналогу.

Восстановление естественного стока. В последние годы на реках отмечается нарушение однородности стоковых рядов в связи с влиянием хозяйственной деятельности. В рассматриваемом бассейне такое нарушение среди исследуемых створов выявлено только по р. Нура у с. Р. Кошкарбаев. Наблюдения в этом створе начаты в 1916 г. С 1941 года в исследуемом створе было отмечено нарушение однородности стокового ряда в связи с введением в строй Самаркандского водохранилища. С этого года по 1957 г. для того, чтобы восстановить значения среднегодовых расходов воды в естественных условиях к величинам наблюдаемых расходов воды прибавлялась величина $4,25 \text{ м}^3/\text{с}$ [9], рассчитанная при существующих в то время условиях испарения, атмосферных осадках и водопотреблении. Исключением являются 1942 и 1949 гг. За период 1958...2015 гг. естественный сток в створе р. Нура – с. Р. Кошкарбаев был восстановлен по уравнению:

$$Q_{НК} = 1,55 \cdot Q_{НБ+ШК} + 1,40, \quad (1)$$

где $Q_{НК}$ – сток в створе р. Нура – с. Р. Кошкарбаев, $\text{м}^3/\text{с}$; $Q_{НБ+ШК}$ – суммарный сток в створах р. Нура – с. Балыкты и р. Шерубайнура – раз. Карамурын, $\text{м}^3/\text{с}$.

Уравнение было получено за 1931...1941, 1943, 1946...1957 гг. В обработку не были включены 1942, 1944, 1945 гг. Коэффициент корреляции связи $r = 0,97$. Эта зависимость представлена на рис. 1.

При выборе расчетного периода для определения нормы и изменчивости применяются разностные интегральные кривые в пунктах с наиболее продолжительными наблюдениями. Эти кривые удобны для выбора репрезентативного расчетного периода из длинного ряда наблюде-

ний. Анализ многолетних колебаний стока, проведенный по ряду рек с помощью разностных интегральных кривых нормированных отклонений модульных коэффициентов годового стока от единицы, свидетельствует о чередовании различных по продолжительности многоводных и маловодных периодов. Таким образом, фаза подъема кривой означает многоводный период, фаза спада – маловодный (ниже среднего), а точка перегиба – граница этих периодов [6, 7].

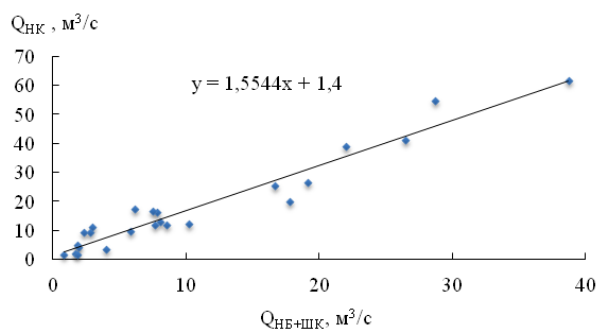


Рис. 1. График связи годового стока р. Нура – с. Р. Кошкарбаев и суммарного стока в створах р. Нура – с. Балыкты и р. Шерубайнура – с. Карамурын за 1931...1941, 1943, 1946...1957 гг.

На рис. 2 представлены разностно-интегральные кривые естественного годового стока и стока при относительно-устойчивом водопотреблении по данным гидропоста р. Нура – с. Р. Кошкарбаев. В многолетнем ходе стока р. Нура – с. Р. Кошкарбаев (рис. 2) видно, что в указанные периоды встречаются годы с повышенными и пониженными средними годовыми расходами воды.

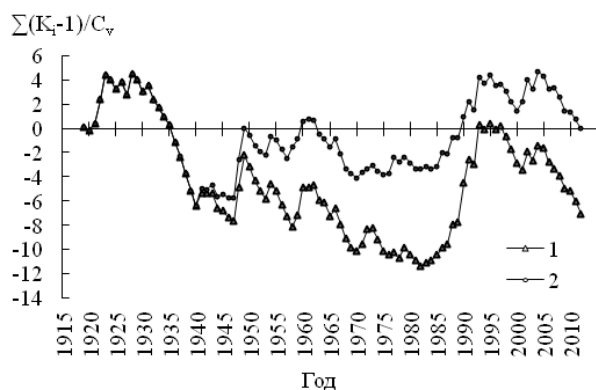


Рис. 2. Разностно-интегральные кривые среднегодовых расходов воды по гидропосту р. Нура – с. Р. Кошкарбаев. 1 – при относительно-устойчивом водопотреблении, 2 – в естественных условиях.

С помощью разностно-интегральной кривой естественного годового стока в многолетнем периоде колебания водности р. Нуры можно наблюдать несколько характерных периодов: маловодные – 1916...1918, 1929...1940, 1950...1957, 1963...1970, 1995...2000, 2005...2012 гг.; многоводные – 1919...1928, 1947...1949, 1958...1962, 1984...1994, 2001...2004 гг. Циклы колебаний стока 1941...1946, 1971...1983, 1993...1996 гг. характеризуются несколькими многоводными и маловодными периодами. В результате анализа было выделено 4 полных цикла изменения водности – 1919...1940, 1941...1970, 1971...2000, 2001...2012 гг. Два периода – 1941...1970, 1971...2000 гг. имеют модульный коэффициент $k = 1$, период 1919...1940 гг. – $k = 0,78$ и период 2001...2012 гг. – $k = 0,89$. Иными словами, водность каждого из этих периодов, включающих полные циклы колебания годового стока, равна или близка к средней водности реки Нура у села Р. Кошкарбаев ($Q_{0n} = 20,93 \text{ м}^3/\text{с}$) за период наблюдений 100 лет. Следовательно, каждый из этих периодов или несколько последовательно объединенных в один более продолжительный период могут быть приняты в качестве расчетных периодов для определения нормы годового стока. Итак, расчетный период был принят с 1919 по 2012 гг.

В данной работе норма годового стока вычислялась, как средняя арифметическая величина статистического ряда по формуле, так как относительная погрешность многолетних величин Q_{0n} во всех случаях не превышает 5 %:

$$Q_{0n} = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_{n-1} + Q_n}{n} = \frac{\sum_1^n Q_n}{n}, \quad (2)$$

где Q_{0n} – норма годового стока, $\text{м}^3/\text{с}$; $Q_1, Q_2, \dots, Q_{n-1}, Q_n$ – годовые значения стока за длительный период (n лет), при котором дальнейшее увеличение ряда наблюдений не меняет или мало меняет среднюю арифметическую величину Q_{0n} .

Коэффициент вариации C_v , или изменчивости, годового стока служит мерой оценки колебания годовых величин стока относительно его нормы и определяется непосредственно по имеющемуся ряду наблюдений по следующей формуле:

$$C_v = \frac{\sigma_Q}{Q_{0n}}, \quad (3)$$

где σ_Q – среднее квадратическое отклонение (ошибка) единичных значений годового стока Q_i от среднего за n лет или среднее из суммы квадратов отклонений членов ряда годовых величин стока Q_i от их среднего значения Q_{0n} .

Определяется σ_Q по следующей формуле:

$$\sigma_Q = \pm \sqrt{\frac{\sum(Q_i - Q_{0n})^2}{n}}. \quad (4)$$

Коэффициент асимметрии C_s характеризует несимметричность ряда величин стока относительно его среднего значения. В данной работе C_s определяется графическим способом, путем последовательного подбора его значений, исходя из условий наилучшего соответствия эмпирическим точкам принятой теоретической кривой обеспеченности, ординаты которой уже вычислены при значениях $C_s = 2C_v$ [14].

При анализе изменений годового стока использовались разностные интегральные кривые. На рис. 3 приведены совмещенные разностно-интегральные кривые, в таблице 3 результаты расчетов и анализа – статистические характеристики стока основных рек бассейна р. Нуры.

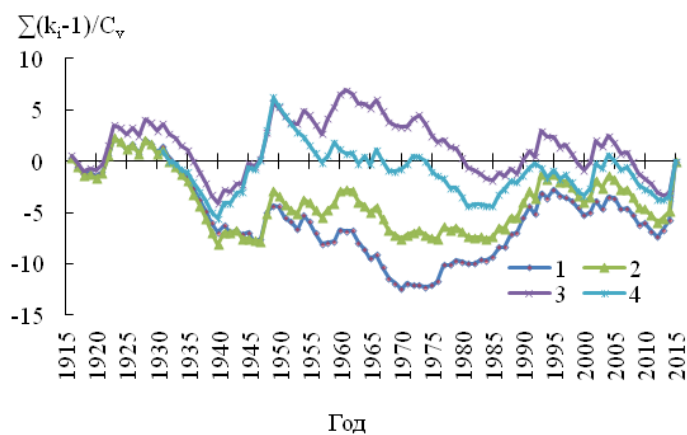


Рис. 3. Разностно-интегральные кривые среднегодовых расходов воды по основным гидропостам. 1 – р. Нура – с. Балькты, 2 – р. Нура – с. Р. Кошкарбаев (естественный сток), 3 – р. Шерубайнура – рзд. Карамурын, 4 – р. Куланотпес – с. Кургальджинское.

Годовой сток рек и временных водотоков бассейна колеблется в значительных пределах. Соотношение наибольших и наименьших средних годовых расходов достигает больших значений. Так, для р. Нуры у с. Р. Кошкарбаев это соотношение составляет 66 (расход 2015 г. – 94,7 м³/с, 1939 г. – 1,44 м³/с), а для р. Кон оно достигает 3810 (расход 1986 г. – 7,62 м³/с, 1968 г. – 0,002 м³/с). В исключительно многоводные годы модульные коэффициенты годовых расходов указанных рек соответственно составляют 6,98 и 3,18, а в крайние маловодные – сток практически отсутствует. Многолетний ход стока характеризуется большей повторяемостью маловодных лет. Наиболее многоводными годами за период 1919...2015 гг. были 1948 г. в восточной части бассейна и 1949 г. в западной части бассейна. Самыми маловодными годами были 1939 г. в восточной части и 2010...2012 гг. в западной части бассейна.

Таблице 3

Статистические характеристики стока основных рек бассейна реки Нура

Среднемноголетние параметры				Расчетный сток различной обеспеченности, м ³ /с						
Q , м ³ /с	W , млн. м ³	C_v	C_s	5 %	10 %	25 %	50 %	75 %	90 %	95 %
20,2	637	0,65	1,19	45,3	38,0	27,3	17,7	10,5	5,99	3,87
р. Нура – с. Романовское (ест.)										
7,32	231	0,68	1,22	16,9	14	9,99	6,35	3,64	1,96	1,19
р. Нура – с. Сергиопольское										
5,06	160	0,78	1,52	12,8	10,3	7,01	4,11	2,18	1,07	0,62
р. Шерубайнура – с. Карамурын										
5,63	178	0,82	1,72	14,7	11,7	7,74	4,37	2,31	1,17	0,77
р. Куланотпес – свх.Кургальджинский										
2,39	75,5	0,91	1,64	6,65	5,27	3,42	1,83	0,82	0,25	0,03
р. Кон – зим. Бирлик										

Для определения указанных параметров использовались ряды наблюдений за принятый период с 1919 по 2012 гг. Расчетные величины средних годовых расходов воды заданной обеспеченности или повторяемости (в среднем 1 раз в n лет) с использованием установленных параметров Q_0 , C_v и C_s определялись с помощью биномиальной асимметричной кривой обеспеченности.

Полученные результаты являются основой обновленной гидрологической оценки поверхностных вод бассейна р. Нуры и могут служить базовой составляющей в гидрологических расчетах при проектировании

водохранилищ для гидроэнергетики, орошения, водоснабжения и других видов водохозяйственного строительства.

Достоверность результатов работы достигается корректной постановкой решаемых задач оценки водных ресурсов бассейна, репрезентативностью исходных фактических данных РГП «Казгидромет», использованием апробированных методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная программа Управления водными ресурсами на 2014 – 2040 годы (указ Президента РК от 04 апреля 2014 года № 786) [Электр. ресурс]. – 2014. – URL: <https://egov.kz/cms/ru/law/list/P1300001423> (дата обращения: 18.11.2016).
2. Государственный водный кадастр Республики Казахстан. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши 1981...1990 гг. Кн. 2, вып. 1, ч. 1. Бассейн озера Балхаш и бессточных районов Центрального Казахстана. – Алматы: Казгидромет, 2002. – 284 с.
3. Государственный водный кадастр Республики Казахстан. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши 1991...2000 гг. Кн. 1, вып. 1, ч.1. Бассейн озера Балхаш и бессточных районов Центрального Казахстана. – Алматы: Казгидромет, 2004. – 171 с.
4. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1980...2015 гг. Ч. 1. Реки и каналы. Ч. 2. Озера и водохранилища. Вып 8. Бассейн рек Нура и Сарысу. – Алматы: Казгидромет, 1981...2016 гг.
5. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 5. Казахская ССР Вып. 4. Бассейны рек оз. Балхаш и бессточных районов Центрального Казахстана. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 574 с.
6. Клибашев К.П., Горошков И.Ф. Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 460 с.
7. Лаврентьев П.Ф., Голубцов В.В. Методика расчета нормы годового стока рек и временных водотоков Центрального Казахстана // Труды КазНИГМИ. – 1967. – № 3 – С. 99-109.
8. Методическое руководство по методам расчета основных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 247 с.
9. Разработка методики составления обобщенных изданий Государственного водного кадастра для Тобол-Торгайского и Нура-Сарысуйского водохозяйственного бассейнов – Алматы: Казгидромет, 2006 г. – 136 с.

10. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель / Под ред. В.А.Урываева. Вып.1. Акмолинская область Казахской ССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1958. – 789 с.
11. Ресурсы поверхностных вод СССР / Под ред. Г.Л. Шимкевич. – Т. 13., Вып. I. Карагандинская область – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 481 с.
12. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 13. Центральный и Южный Казахстан. Вып. 2. Карагандинская область. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 645 с.
13. Ресурсы поверхностных вод. Основные гидрографические характеристики. Т. 13. Центральный и Южный Казахстан. Вып. 2. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 471 с.
14. Рождественский А.В., Чеботарев А.И., Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 424 с.

Поступила 7.06.2017

Р.К. Ащанова

НҰРА ӨЗЕНІ АЛАБЫНДАҒЫ НОРМАНЫ АНЫҚТАУ ЖӘНЕ ӨЗЕНДЕР АҒЫНЫНЫҢ ӨЗГЕРУІ

Түйін сөздер: ағын нормасы, ағынның құбылмалылығы, Нұра өзені алабы, су ресурстарын бағалау, асимметрия коэффициенті, табиғи ағынды қалпына келтіру

Нұра өзені алабы қарастырылды, ағын бойынша бақылау қатары ұзартылды және негізгі гидробекеттердегі жасалмаған бақылау қатары қалпына келтірілді, Нұра өзенінің Р. Кошкарбаев ауылындағы табиғи ағын қалпына келтірілді, Нұра өзені алабы өзендер ағынының жаңартылған сипаттамалық статистикалары анықталды және репрезентативті есептік аралық таңдалды.

Aschanova R.K.

DETERMINATION OF THE NORM AND VARIABILITY OF THE RIVERS OF THE NURA RIVER BASIN

Keywords: norm of runoff, variability of runoff, Nura River basin, water resources assessment, coefficient of asymmetry, restoration of natural runoff

The Nura river basin is considered, the series of observations of the runoff are extended and the gaps in observations at the main hydrological stations are restored, the natural flow of the Nura River is restored in the village R. Koshkarbaev, a representative settlement period was selected and updated statistical characteristics of the river flow of the Nura River were determined.