

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОРОДНОСТИ И СТАЦИОНАРНОСТИ ИНФОРМАЦИИ ПО МАКСИМАЛЬНОМУ СТОКУ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ РЕК СЕВЕРА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье, на примере данных по максимальному стоку весеннего половодья рек севера Тюменской области, анализируется соответствие требованиям, предъявляемым современными нормативными документами, к исходной информации по стоковым рядам.

Ключевые слова: максимальный сток весеннего половодья, однородность, стационарность.

Введение. Рассматриваемая территория расположена между 63° и 74° с.ш. и 64° – 84° в.д и занимает северную часть Западно-Сибирской равнины. Она включает бассейны рек западной части Карского моря. Границами данного района являются водораздельные линии бассейнов. Водораздельная линия между бассейнами рек Надыма, Пура, Таза и рек Средней Оби хорошо выражена и ограничена Сибирскими увалам. На востоке территория граничит с бассейном Енисея, на западе водораздельная линия проходит по самым высоким участкам Северного и Полярного Урала[1]. Реки описываемой территории относятся к западно-сибирскому типу[2] и имеют невысокое, растянутое и сглаженное половодье, повышенный летне-осенний сток и низкую зимнюю межень. Максимальные расход весеннего половодья превышают средней годовой в среднем в 10 раз.

В настоящее время ведутся работы по расширению имеющихся газоносных площадей и обустройству новых месторождений на севере Тюменской области России. Расчёт характеристик весеннего половодья имеет большое значение в гидрологическом обеспечении проектирования объектов газовой промышленности. Практическая важность вопроса определяется тем, что многие характеристики половодья необходимо учитывать при строительстве гидротехнических сооружений. Основными расчетными величинами при этом являются максимальные расходы и слои стока различной обеспеченности, также в некоторых расчетных схемах возможен расчет по данным о максимальных снегозапасах к началу весеннего половодья. От правильного определения этих величин зависит надёжность работы и экономическая эффективность сооружений.

Постановка проблемы. В настоящее время в России взамен устаревшего СНиП 2.01.14-83 [3] введён новый нормативный документ СП 33-101-2003 [4] и методические рекомендации к нему [5,6], которыми предусмотрено, что прежде, чем применять аппарат математической статистики и теории функций распределения, необходимо оценить соответствие временных рядов требуемым условиям, которые состоят в:

- однородности выборок;
- стационарности основных выборочных параметров (среднего значения и дисперсии).

Цель работы. Поскольку в последнее время в связи с изменениями климата во временных рядах стока рек все чаще отмечаются тренды различных направлений, возникает необходимость проверки их однородности и стационарности. Целью данного исследования является анализ исходной информации по стоку весеннего половодья рек севера Тюменской области.

Материалы исследования. В гидрологическом отношении описываемая территория исследована неравномерно. Авторами использованы материалы наблюдений по 25 пунктам опорной гидрологической сети Западно-Сибирского УГМС России (рис.1). Большинство из них относится к юго-западной части территории (бассейн Сев. Сосьвы). Сведения о максимальном стоке полуостровов Гыданского и Тазовского практически отсутствуют. Продолжительность наблюдений составляет от 11 до 77 лет и включает информацию по 2007 год включительно. В то же время сеть метеорологических станций расположена более равномерно по всей рассматриваемой территории, ряды наблюдений за максимальными снегозапасами имеются на 17 из них. Отличительной особенностью в расположении метеостанций является их наличие в районах, где вообще отсутствуют наблюдения за стоком рек. Причем, три из них располагаются вдоль западного побережья полуострова Ямал, одна - на юго-востоке, в верховьях реки Таз (рис.1). Период наблюдений за максимальными снегозапасами составляет от 7 до 45 лет.

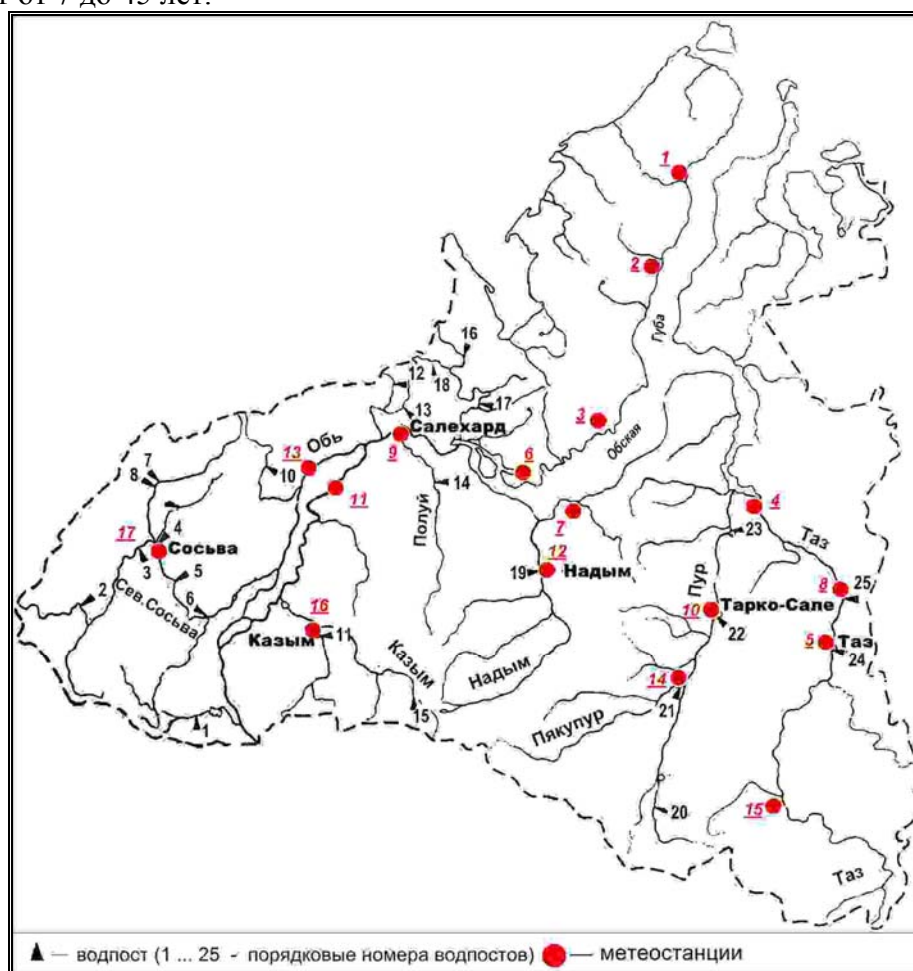


Рис. 1. – Гидрометеорологическая изученность территории севера Тюменской области.

Методика исследования. Первым шагом исследования является оценка однородности эмпирических распределений рассматриваемых характеристик. Существуют три основные причины такой неоднородности:

- резко отклоняющиеся расходы воды имеют особые условия формирования, например, сформированы катастрофическими ливнями (тайфунами), наложением дождя на снеговой паводок и т.д.;

- экстремальное событие имеет более редкую вероятность появления, чем та, которая определяется по эмпирической формуле при включении его в общую последовательность наблюдений;
- резко отклоняющаяся величина обусловлена значительной погрешностью измерений.

Для оценки статистической однородности применяются критерии резко отклоняющихся экстремальных значений в эмпирическом распределении: Смирнова-Граббса и Диксона [5,6,7]. Последовательность оценки однородности состоит в том, что вначале резко отклоняющие от эмпирического распределения максимумы проверяются по статистическим критериям и в случае отклонения гипотезы однородности устанавливается ее причина на основе генетического анализа.

Особенность критериев оценки однородности Смирнова-Граббса и Диксона состоит в том, что они разработаны для условий нормального симметричного закона распределения генеральной совокупности и отсутствия автокорреляции. В тоже время эмпирические распределения характеристик максимального стока имеют большую асимметрию, а в ряде случаев, во временных рядах может иметь место статистически значимая автокорреляция между смежными членами ряда (r_1). Для учета таких особенностей гидрологической информации были проведены работы по расширению таблиц статистических критериев наиболее часто применяемых в гидрологии (критерии Диксона, Смирнова-Граббса, Стьюдента, Фишера) и полученные результаты представлены в методических рекомендациях по оценке пространственно-временной однородности речного стока [5,6].

Статистики критерия Диксона рассчитываются на основании эмпирических данных по следующим формулам:

а) для максимального члена ранжированной в возрастающем порядке выборки (Y_n)

$$D_{max} = \frac{Y_n - Y_{n-1}}{Y_n - Y_1} ; \quad (1)$$

б) для минимального члена ранжированной в возрастающем порядке выборки (Y_1)

$$D_{min} = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1 - Y_2} . \quad (2)$$

Статистика критерия Смирнова-Граббса для максимального члена ранжированной последовательности (Y_n) рассчитывается по формуле

$$G_{max} = \frac{Y_n - \bar{Y}}{\sigma} \quad (3)$$

и для минимального (Y_1):

$$G_{min} = \frac{\bar{Y} - Y_1}{\sigma} , \quad (4)$$

где: \bar{Y}, σ - среднее значение и среднее квадратическое отклонение анализируемой выборки.

Оценка однородности по критериям состоит в сравнении расчетных значений статистики критерия, полученной по эмпирическим данным, с ее критическим значением из таблиц или номограмм при заданном уровне значимости, объеме выборки, коэффициентах автокорреляции и асимметрии [5,7]. Уровень значимости обычно задается равным 5%, что соответствует принятию нулевой гипотезы об однородности с вероятностью 95%.

При оценке стационарности временных рядов (относительно средних значений и дисперсий) для последовательных частей ряда применяются критерии Стьюдента и Фишера, также обобщенные для особенностей гидрологической информации [4,5,7]. Анализ по этим критериям осуществляется после того, как проведена оценка на отсутствие резко отклоняющихся экстремумов, существенно влияющих на значения средних значений и особенно дисперсий.

Для оценки стационарности дисперсий и средних значений, соответственно по критериям Фишера и Стьюдента, временной ряд разбивается на две или несколько подвыборок приблизительно одинаковой длины, причем границы разбиения желательно связать с датами предполагаемых нарушений стационарности. По каждой подвыборке вычисляются значения средних (\bar{Y}_j) и дисперсий (σ_j^2), которые используются для получения расчетных значений статистики Фишера:

$$\text{при } \sigma_j^2 > \sigma_{j+1}^2$$

$$F = \sigma_j^2 / \sigma_{j+1}^2, \quad (5)$$

где σ_j^2 , σ_{j+1}^2 – соответственно дисперсии подвыборок (j и $j+1$) объемом n_1 и n_2 .

Гипотеза о стационарности дисперсий принимается при заданном уровне значимости $\alpha(\%)$, если расчетное значение статистики критерия меньше критического ($F < F^*$) при заданных степенях свободы, соответствующих объемам выборок (n_1 и n_2).

При объемах выборок n_1 и n_2 больше или равных 25 членам ряда можно использовать классическое F-распределение для нормально распределенных независимых случайных величин с новыми степенями свободы, которые зависят от автокорреляции и асимметрии и определяются по формулам [5]:

$$n_{1F} = \frac{n_1 g}{1 + \frac{2r^2}{1-r^2} \left[1 - \frac{1-r^{2n_1}}{n_1(1-r^2)} \right]}, \quad (6)$$

$$n_{2F} = \frac{n_2 g}{1 + \frac{2r^2}{1-r^2} \left[1 - \frac{1-r^{2n_2}}{n_2(1-r^2)} \right]}, \quad (7)$$

где: g – коэффициент, учитывающий влияние асимметрии исходной совокупности и определяемый по [1],

r – коэффициент автокорреляции между смежными членами ряда.

Расчетное значение статистики критерия Стьюдента для оценки стационарности двух средних значений последовательных подвыборок определяется по формуле

$$t = \frac{\bar{Y}_I - \bar{Y}_{II}}{\sqrt{n_1\sigma_I^2 + n_2\sigma_{II}^2}} \sqrt{\frac{n_1n_2(n_1+n_2+2)}{n_1+n_2}}, \quad (8)$$

где: \bar{Y}_I, \bar{Y}_{II} , $\sigma_I^2, \sigma_{II}^2$ – средние значения и дисперсии двух последовательных выборок, n_1 и n_2 – объемы выборок.

Критические значения статистики Стьюдента определяются по Рекомендациям [5,6] при равных объемах выборок или рассчитываются по уравнению:

$$t'_\alpha = C_t \cdot t_\alpha, \quad (9)$$

где: t'_α – критическое значение статистики Стьюдента при наличии автокорреляции,

t_α – критическое значение статистики Стьюдента для случайной совокупности при том же числе степеней свободы $k = n_1 + n_2 - 2$;

C_t – переходный коэффициент, определяемый в зависимости от коэффициента автокорреляции.

Оценка стационарности по критерию Стьюдента осуществляется также путем сравнения расчетных и критических значений статистик. Если расчетное значение меньше критического при заданном уровне значимости, гипотеза об однородности (стационарности) не отклоняется.

Результаты исследования. Оценка однородности эмпирических распределений на наличие резко отклоняющихся наибольших значений и стационарности средних значений и дисперсий временных рядов проведена для исходных рядов наблюдений за максимальными расходами воды весеннего половодья, слоями стока весеннего половодья и максимальными снегозапасами на территории севера Тюменской области.

Результаты оценки однородности и стационарности исходных рядов максимальных срочных расходов воды весеннего половодья приведены в табл.1. В ней знаком «+» обозначен вывод о принятии гипотезы однородности и стационарности, а знаком «-» - об отклонении.

Если расчетное значение статистики критерия близко к критическому, но превышает его, то в таблице также приводится уровень значимости, соответствующий расчетному значению критерия. В этом случае вывод о принятии или отклонении гипотезы однородности и стационарности является сомнительным и заключается в скобки.

Пример оценки однородности эмпирического распределения максимальных в году расходов воды на р.Полуй – гмс Полуй показан в табл.2. В ней приведены названия критериев, расчетные значения статистик, их критические значения и уровень значимости, соответствующий расчетным значениям. В данном случае уровень значимости составляет более 10% и поэтому в таблице приведено значение 11%, свидетельствующее о том, что гипотеза об однородности принимается с высокой степенью достоверности.

В итоге, проанализировав полученные результаты, можно принять гипотезу однородности и стационарности эмпирических распределений для всех пунктов наблюдений за максимальным расходом воды.

Следующей гидрологической характеристикой, для которой оценивалась однородность и стационарность, был слой стока весеннего половодья. В этом случае все анализируемые эмпирические распределения слоев половодья оказались однородными. Нестационарными являются ряды слоёв стока по постам р.Пур-п.Уренгой и р.Еркал-

Надей-Пур-факт.Халесовой. Их нестационарность проявляется по критерию Фишера. Поскольку в этих рядах наблюдаются довольно большие пропуски в наблюдениях, то можно предположить, что их нестационарность связана, прежде всего, именно с этим обстоятельством.

Таблица 1 - Результаты оценки однородности по критериям Диксона (Д) и стационарности по критериям Стьюдента (Ст) и Фишера (Ф) максимальных расходов воды весеннего половодья

№ п/п	Река – пункт	Критерии		
		Д	Ф	Ст.
1	р. Нягын-Юган-пос. Нягын	+	+	+
2	р. Сев. Сосьва-с. Няксимволь	+	+	+
3	р. Сев. Сосьва-с. Кимкясуй	+	+	+
4	р. Сев. Сосьва-с. Сосьва	+	+	+
5	р. Сев. Сосьва-с.Сартынья	+	+	+
6	р. Сев. Сосьва-пгт. Игрим	+	+	4.1
7	р. Хулга-с. Ясунт	+	+	+
8	р. Ляпин-с. Саранпуль	+	+	+
9	р. Шома-Я-изба Шома-Я	+	+	+
10	р. Сыня-пос. Овгорт	+	+	+
11	р. Амня-с. Казым	+	4.6	+
12	р. Сосьва-жд. ст. Харп	+	+	+
14	р.Полуй-с. Полуй	+	+	+
15	р. Казым-с. Юильск	+	+	+
16	р. Щучья-пос.Щучье	+	+	+
17	р. Щучья факт. Лаборовая	+	+	+
18	р. Бол. Ходата-ГМС Бол. Ходата	+	+	+
19	р.Надым-пос. Надым	+	+	+
20	р. Еркал-Надей-Пур-факт. Халесовой	+	+	+
21	р. Пяку-Пур-пос. Тарко-Сале	+	+	+
22	р. Пур-г. Уренгой	+	+	+
23	р. Пур-пос. Самбург	+	+	+
25	р. Таз-пос. Сидоровск	+	3.2	+

Таблица 2. - Результаты оценки однородности эмпирического распределения максимальных расходов весеннего половодья на р.Полуй – гмс Полуй

Экстремум	Критерий	Расчетное значение	Критическое значение	Расчетный уровень значимости, %	Вывод
max	Диксон 1	0.146	0.212	11.0	однороден
max	Диксон 2	0.148	0.232	11.0	однороден
max	Диксон 3	0.161	0.285	11.0	однороден
max	Диксон 4	0.192	0.304	11.0	однороден
max	Диксон 5	0.159	0.270	11.0	однороден
min	Диксон 1	0.013	0.201	11.0	однороден
min	Диксон 2	0.016	0.210	11.0	однороден
min	Диксон 3	0.203	0.269	11.0	однороден
min	Диксон 4	0.206	0.284	11.0	однороден
min	Диксон 5	0.173	0.250	11.0	однороден
max	Смирнов-Граббс	2.186	2.979	11.0	однороден
min	Смирнов-Граббс	2.720	2.979	11.0	однороден

Последняя характеристика - данные о максимальных снегозапасах к началу половодья. Из рассматриваемых рядов нестационарен по средним значениям оказался ряд наблюдений по метеостанции Се-яха, и неоднороден и нестационарен по критерию Фишера ряд наблюдений по метеостанции Мужы.

Этот ряд имеет большие пропуски в наблюдениях и имеет продолжительность 14 лет. Тем не менее, так как критерий Фишера показывает стационарность и ряд наблюдений однороден было принято решение рассчитывать статистические параметры ряда по имеющимся данным, без изменений. Следующий случай несоответствия данных гипотезе стационарности и однородности – ряд наблюдений по метеостанции Мужы. Однородность ряда нарушается резко отклоняющимися минимальными значениями ряда в 1949г. -87 мм, 1951г.-78 мм и 1956г. – 62 мм. Из-за отсутствия необходимых сведений невозможно установить конкретную причину отклонения данных величин с одной стороны, а с другой этот ряд также имеет большие пропуски в периоде наблюдений. Поскольку гидрометеорологическая изученность данной территории недостаточна и не может быть существенно увеличена, то предлагается использовать также данные и поэтому посту, в случае необходимости.

Выводы. Общий вывод из анализа однородности и стационарности всех гидрологических характеристик максимального стока весеннего половодья рек исследуемой территории состоит в том, что все данные практически соответствуют условиям однородности и стационарности и к ним можно применять аппарат математической статистики.

Перспективы дальнейших исследований. Полученные результаты будут в дальнейшем использованы при расчете характеристик максимального стока весеннего половодья рек севера Тюменской области заданной обеспеченности, с целью их дальнейшего обобщения по территории.

Список литературы

1. *Ресурсы поверхностных вод СССР. / Алтай и Западная Сибирь - Л.: Гидрометеиздат, 1973.Т. 17. – 848 с.*
2. *Климат и воды Сибири. Сб. науч. тр. / Под ред. Г.В. Бачурина, В.В. Буфал – Новосибирск.: Наука, 1980. – 235 с.*
3. *Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 448 с.*
4. *СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик.. - М: Госстрой России, 2003.- 74 с.*
5. *Методические рекомендации по методам оценки однородности и стационарности рядов гидрологических характеристик при разработке Территориальных строительных норм (ТСН). – Санкт Петербург.: ГГИ, 2003. – 48 с.*
6. *Методические рекомендации. Определение расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. – Санкт- Петербург.: ГГИ, 2007. – 69 с.*
7. *Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации.– Санкт Петербург, 2007. – 278 с.*

Дослідження однорідності і стаціонарності інформації по максимальному стоку весняного водопілля річок півночі Тюменської області. Овчарук В.А., Лобанов В.А., Молдован М.В.

У статті, на прикладі даних по максимальному стоку весняного водопілля річок півночі Тюменської області, аналізується відповідність вимогам, що пред'являються сучасними нормативними документами до вихідної інформації по стоку.

Ключові слова: *максимальний стік весняного водопілля, однорідність, стаціонарність.*

Research of homogeneity and stationarity of information on the maximal runoff of spring flood of the rivers of north of Tyumenskaya area. Ovcharuk V.A., Lobanov V.A., Moldovan N.V.

In the article, on the example of information on the maximal flow of spring flood of the rivers of north of the Tyumenskaya area, conforming to the requirements is analyzed, by the produced modern normative documents to initial information on runoff.

Keywords: *maximal runoff of spring flood, homogeneity, stationarity.*