

ОДНОРОДНОСТЬ И СТАЦИОНАРНОСТЬ ИНФОРМАЦИИ ПО СТОКУ РЕК НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

Владимир Михайлович Топоров

Сибирский научно-исследовательский гидрометеорологический институт, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Советская, 30, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, тел. (383)222-25-30, e-mail: toporov@sibnigmi.ru

Олеся Игоревна Пищимко

Сибирский научно-исследовательский гидрометеорологический институт, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Советская, 30, младший научный сотрудник, тел. (383)222-25-30, e-mail: pishchimko@bk.ru

Рассмотрены ряды среднегодовых и максимальных расходов воды рек Новосибирской области с точки зрения соответствия необходимым условиям для применения методов статистической обработки при их анализе. При определении расчетных гидрологических величин, используемых для проектирования гидротехнических и других сооружений, связанных с водными объектами, необходимо, чтобы наблюдения, образующие гидрологический ряд, были однородными и стационарными. Однородность связана с соблюдением условий, что все величины были взяты из одного и того же распределения «генеральной совокупности». Стационарность означает, что в анализируемом периоде не наблюдалось статистически значимых изменений в оценках характеристик стока, (средние значения и дисперсии мало зависят от числа членов выборки).

В статье приведены таблицы с рассчитанными критериями однородности рядов наблюдений (Диксона и Смирнова – Граббса) и стационарности (Фишера и Стьюдента) для средних и максимальных расходов воды, по 33 гидрологическим створам наблюдений за стоком воды рек Новосибирской области.

Ключевые слова: расходы воды, анализ данных, критерии: Фишера, Стьюдента, Диксона, Смирнова-Граббса

UNIFORMITY AND STATIONARITY OF INFORMATION ON THE RIVER FLOW IN NOVOSIBIRSK REGION

Vladimir M. Toporov

Siberian Regional Research Hydrometeorological Institute, 30, Sovetskaya str., Novosibirsk, 630099, Russia, PhD in Geography., leading researcher, phone: (383)222-25-30, e-mail: toporov@sibnigmi.ru

Olesya I. Pishchimko

Siberian Regional Research Hydrometeorological Institute, 30, Sovetskaya str., Novosibirsk, 630099, Russia, junior researcher, phone: (383)222-25-30, e-mail: pishchimko@bk.ru

The series of mean annual and maximum water discharges of the rivers of the Novosibirsk region are considered from the point of view of compliance with the necessary conditions for the use of statistical processing methods in their analysis. Hydraulic calculations necessary for the design of hydraulic engineering and other structures associated with water bodies require for uniformity and stationarity of observations forming the hydrologic series. Uniformity is related to the compliance with the condition that all values should be taken from the same distribution of “general population”. Stationarity means there were no statistically significant changes in the estimates of flow character-

istics in the analyzed period (the average values and dispersions do not depend much on the number of sample members). The article presents tables with calculated criteria for the uniformity of the observation series (Dixon and Smirnov–Grubbs) and stationarity (Fischer and Student) for mean and maximum water discharges, for 33 hydrologic measuring section for water run-off observations in rivers of Novosibirsk region.

Keywords: water discharge data analysis, criteria: Fischer, Student, Dixon, Smirnov-Grubbs

Введение

Решение большинства гидрологических задач заключается в расчете обеспеченности для тех или иных характеристик стока, а сами данные трактуются как случайные величины, для определения которых используются методы математической статистики и теории вероятности. К таким характеристикам в первую очередь относятся среднегодовые и максимальные расходы воды.

Одной из задач при проведении расчетов является анализ исходной информации. Методы проведения инженерных гидрологических расчетов хорошо изложены в своде правил СП 33-101-2003, ряде монографий, статей и методических рекомендациях [1–5]. Эти документы заменили существующие ранее СНиП 2.01.14-83 и пособие [6, 7].

Основное отличие новых правил расчета гидрологических характеристик от существующих к тому времени связано с введением некоторых поправок в расчетные величины и усовершенствование методов расчета. Основанием для этого послужило значительное увеличение периода наблюдений (длины исходных рядов) и возможность использования новых методов статистической обработки гидрологических данных.

Среди новых рекомендаций в этих документах присутствуют и проведение анализа данных на однородность, и стационарность информации. Анализ достоверности исходной информации, в той или иной степени проводился всегда, но только в последнее время он приобрел некоторые количественные критерии. Немаловажную роль в этом сыграла гипотеза об изменении климата, который может влиять на стационарность режима рек.

Исходные данные и методика исследования

Для анализа взяты среднегодовые и максимальные расходы воды по 33 гидрологическим створам на 19 реках Новосибирской области, расположенные в различных физико-географических зонах: южной тайги, лесостепи, степи и предгорьях Салаира (рис. 1), а их наименование этих рек и створов приведены в табл. 1. Реки области имеют различные типы водного режима. По классификации Зайкова Б. Д. они относятся к 3 типам: Казахстанскому, Алтайскому, Западносибирскому [8, 9].

Для оценки статистической однородности применяются критерии резко отклоняющихся экстремальных значений в эмпирическом распределении: Смирнова - Граббса и Диксона [4, 10].

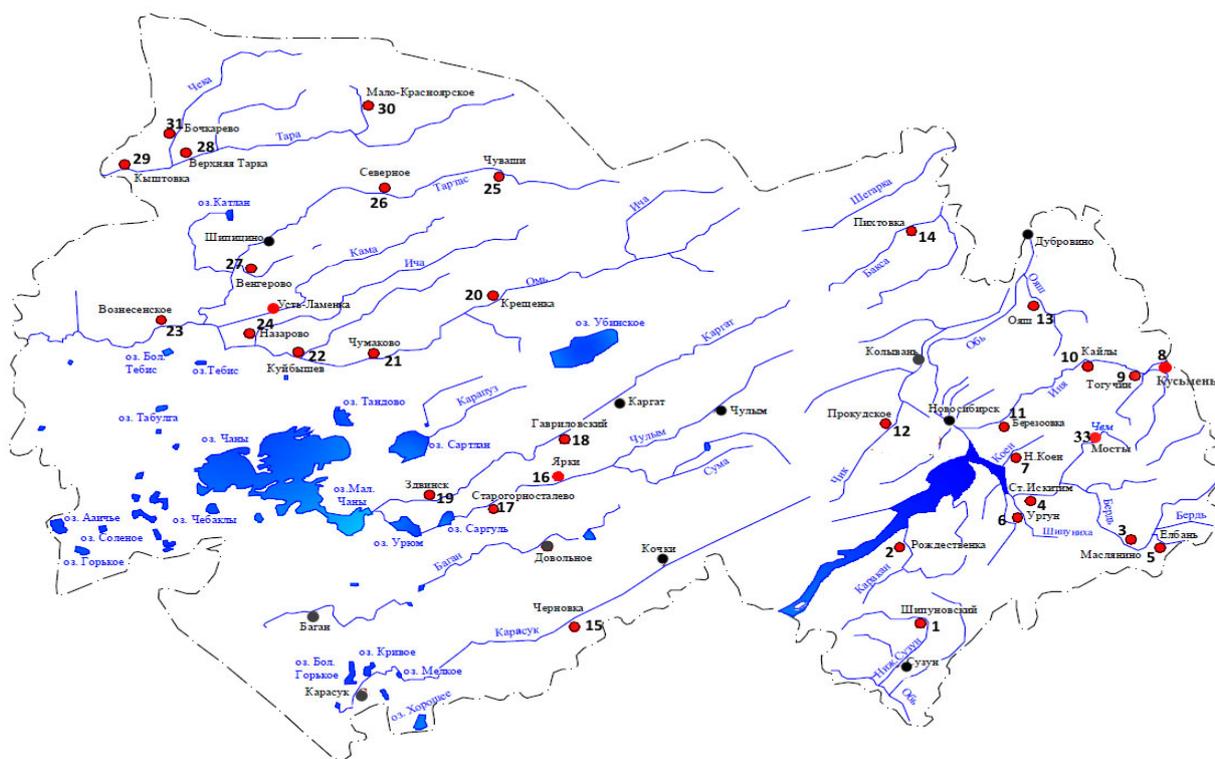


Рис. 1. Схема гидрологической сети рек Новосибирской области
(цифры – номер поста по табл. 1)

Таблица 1

Список гидрологических постов по Новосибирской области

Номер на карте	Наименование водного объекта и гидрологического створа	Номер на карте	Наименование водного объекта и гидрологического створа
1	р. Нижний Сузун – пос. Шипуновский	18	р. Каргат – пос. Гавриловский
2	р. Каракан – с. Рождественка	19	р. Каргат – с. Здвинск
3	р. Бердь – пгт. Маслянино	20	р. Омь – с. Крещенка
4	р. Бердь – д. Старый Искитим	21	р. Омь – с. Чумаково
5	р. Елбань – с. Елбань	22	р. Омь – г. Куйбышев
6	р. Шипуниха – с. Ургун	23	р. Омь – с. Вознесенское
7	р. Коен – с. Нижний Коен	24	р. Ича – с. Назарово
8	р. Иня – с. Кузьмень	25	р. Тартас – с. Чуваши
9	р. Иня – с. Тогучин	26	р. Тартас – с. Северное
10	р. Иня – с. Кайлы	27	р. Тартас – с. Венгерово
11	р. Иня – с. Березовка	28	р. Тара – с. Верхняя Тарка
12	р. Чик – с. Прокудское	29	р. Тара – д. Кыштовка
13	р. Ояш – с. Ояш	30	р. Тара – с. Мало-Красноярское
14	р. Бакса – с. Пихтовка	31	р. Чека – с. Бочкарево
15	р. Карасук – с. Черновка	32	р. Кама – с. Усть-Ламенка
16	р. Чулым – с. Ярки	33	р. Чем – с. Мосты
17	р. Чулым – с. Старогорносталево		

Статистики критерия Диксона (D) 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 выборке (Y_1)

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

Статистика критерия Смирнова - Грабса (G) 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.

При оценке однородности временных рядов (относительно средних значений и дисперсий) для последовательных частей ряда применяются критерии Стьюдента и Фишера, также обобщенные для особенностей гидрологической информации [3, 10]. 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 однородности 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:

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

$$F = \sigma_j^2 / \sigma_{j+1}^2,$$

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).

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

$$T = \frac{\bar{Y}_I - \bar{Y}_{II}}{\sqrt{n_1 \sigma_I^2 + n_2 \sigma_{II}^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 2)}{n_1 + n_2}}, \quad (5)$$

где \bar{Y}_I , \bar{Y}_{II} , σ_I^2 , σ_{II}^2 – средние значения и дисперсии двух последовательных выборок; n_1 и n_2 – объемы выборок.

Критические значения статистики Стьюдента определяется по рекомендациям [10] при равных объемах выборок

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

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 и их обсуждение

Оценка однородности эмпирических распределений на наличие резко отклоняющихся наибольших значений и стационарности средних значений и дисперсий временных рядов приведена для исходных рядов наблюдений за среднегодовыми и максимальными расходами воды в табл. 2, 3.

В колонке «вывод» расположены два знака. Первый относится к максимальному значению характеристики в ряду наблюдений, - второй к минимальному. Знаком «+» обозначена ситуация о принятии гипотезы однородности, а знаком «-», об отклонении.

Значимая асимметрия в анализируемых выборках приводит к увеличению критических значений статистик, определенных для исходного нормального распределения, если проверяется максимальное значение ряда, и к уменьшению критических значений этих статистик при проверке членов ряда, имеющего минимальное значение.

Влияние автокорреляции на статистики критериев не столь существенно, как асимметрии. При этом, чем больше асимметрия, тем в большей степени сказывается влияние автокорреляции. Поэтому, если использовать критерии Диксона и Смирнова - Граббса, основанные на нормальном распределении, можно допустить существенную ошибку. Ошибка состоит в том, что можно принять минимальное отклоняющееся значение принадлежащим к данной совокупности, тогда как в действительности оно является неоднородным и принадлежит к дру-

тому распределению и, наоборот, считать аномальным одно или несколько максимальных значений, тогда как они принадлежат тому же асимметричному распределению.

Таблица 2

Критерии Диксона (D) и Смирнова - Грабса (G)
для среднегодовых и максимальных расходов воды

№ по табл. 1	Среднегодовой расход						Максимальный расход					
	D _{max}	D _{min}	ВЫВОД	G _{max}	G _{min}	ВЫВОД	D _{max}	D _{min}	ВЫВОД	G _{max}	G _{min}	ВЫВОД
1	0,03	0,14	++	1,81	2,30	++	0,18	0,04	++	3,04	1,51	— +
2	0,09	0,04	++	2,91	0,03	++	0,16	0,01	— +	4,34	1,13	— +
3	0,05	0,07	++	2,69	2,01	++	0,03	0,08	++	2,78	1,68	++
4	0,20	0,05	— +	2,75	2,39	++	0,10	0,05	++	3,08	1,98	++
5	0,24	0,03	— +	3,75	1,34	++	0,40	0,01	— +	4,96	1,00	— +
6	0,33	0,01	— +	3,38	1,13	++	0,14	0,01	++	2,54	1,15	++
7	0,09	0,04	++	2,58	2,00	++	0,10	0,02	++	3,48	1,41	— +
8	0,03	0,18	++	1,82	2,19	++	0,43	0,03	— +	3,23	1,15	— +
9	0,04	0,02	++	1,86	1,68	++	0,42	0,21	— +	2,28	1,50	++
10	0,18	0,03	— +	2,84	1,99	++	0,01	0,05	++	2,13	2,08	++
11	0,03	0,07	++	1,98	1,96	++	0,05	0,00	++	2,52	1,68	— +
12	0,09	0,02	++	1,10	0,68	++	0,27	0,01	— +	3,58	1,21	— +
13	0,15	0,02	— +	3,01	1,74	++	0,02	0,00	++	3,20	1,08	++
14	0,02	0,00	++	2,48	1,24	++	0,19	0,01	— +	5,44	0,88	— +
15	0,00	0,00	++	2,02	1,44	++	0,03	0,03	++	1,91	1,31	++
16	0,22	0,01	— +	3,88	1,05	++	0,06	0,02	++	2,54	1,29	++
17	0,15	0,02	— +	3,24	1,02	++	0,14	0,02	— +	2,90	1,25	++
18	0,33	0,00	— +	4,38	1,04	++	0,14	0,00	— +	3,69	1,17	++
19	0,28	0,01	— +	4,37	1,13	++	0,09	0,00	— +	3,36	1,90	++
20	0,04	0,03	++	2,30	1,46	++	0,15	0,04	++	2,24	1,61	++
21	0,08	0,00	++	2,27	1,40	++	0,15	0,02	++	2,29	1,70	++
22	0,06	0,00	++	2,51	1,37	++	0,09	0,01	++	3,16	1,54	++
23	0,10	0,01	++	2,86	1,45	++	0,07	0,02	++	2,13	1,79	++
24	0,06	0,03	++	3,01	1,26	++	0,10	0,01	— +	2,90	1,30	++
25	0,28	0,01	— +	3,12	1,37	++	0,05	0,02	++	1,95	1,40	++
26	0,19	0,00	— +	3,02	1,39	++	0,23	0,01	— +	2,76	1,64	++
27	0,16	0,00	— +	3,11	1,38	++	0,13	0,00	— +	3,39	1,50	++
28	0,01	0,01	++	2,59	1,55	++	0,15	0,00	— +	2,70	1,59	++
29	0,10	0,01	++	2,79	1,51	++	0,01	0,06	++	1,99	1,61	++
30	0,07	0,00	++	2,91	1,56	++	0,05	0,03	++	2,27	1,93	++
31	0,01	0,02	++	2,58	1,74	++	0,15	0,05	— +	2,51	2,08	++
32	0,09	0,01	++	3,28	1,12	++	0,25	0,04	— +	3,80	1,44	++
33	0,06	0,15	++	2,53	0,79	++	0,13	0,09	++	2,70	1,75	++

Таблица 3

Стационарность дисперсий и однородность средних значений среднегодовых и максимальных расходов воды по критерию Фишера (F) и Стьюдента (T)

№ створ по табл. 1	Среднегодовые расходы						Максимальные расходы					
	F рас- четн.	F кри- тич.	вывод	T рас- четн.	T кри- тич.	вывод	F рас- четн.	F кри- тич.	вывод	T рас- четн.	T кри- тич.	вывод
1	1,06	2,12	+	1,13	1,68	+	0,87	0,46	-	1,05	1,68	+
2	3,93	1,9	-	4	1,68	-	5,44	1,86	-	4,3	1,68	-
3	1,81	1,79	-	1,21	1,67	+	2,26	1,79	-	3,8	1,67	-
4	1,17	1,89	+	-0,3	1,67	+	1,85	1,9	+	0,92	1,68	+
5	2,7	1,95	-	1,61	1,68	+	12,2	1,95	-	4,04	1,7	-
6	0,84	0,41	-	0,49	1,71	+	1,27	2,13	+	0,67	1,69	+
7	1,51	1,81	+	-0,5	1,7	+	1,02	2,33	+	-0,5	1,69	+
8	0,31	0,31	+	1,24	1,67	+	2,95	1,81	-	3,63	1,68	+
9	1,83	2,68	+	-2,1	1,76	+	0,13	0,31	+	-0,2	1,8	+
10	0,81	0,57	-	-0,6	1,72	+	2,35	2,69	+	1,77	1,72	-
11	0,97	0,52	-	0,19	1,67	+	1,46	1,74	+	2,27	1,67	-
12	2,11	1,97	-	-0,5	1,67	+	1,38	1,89	+	2,06	1,68	-
13	1,94	1,78	-	1,59	1,68	+	1,81	1,93	+	1,38	1,68	+
14	0,97	0,55	-	1,91	1,67	-	13,8	1,77	-	5,12	1,68	-
15	0,67	0,44	-	-0,6	1,67	+	0,02	0,55	+	0,71	1,68	+
16	0,38	0,47	+	-1,3	1,69	+	0,61	0,45	-	-1,2	1,69	+
17	1,15	2,29	+	-1,3	1,68	+	1,05	2,01	+	0,01	1,68	+
18	1,68	1,79	+	-0,6	1,7	+	1,1	2,29	+	0,1	1,7	+
19	2,34	1,72	-	0,26	1,67	+	1,93	1,79	-	1,57	1,67	+
20	1,54	2,11	+	1,08	1,67	+	4,14	1,71	-	2,98	1,67	-
21	1,4	2	+	-1,1	1,69	+	1,29	2,1	+	-0,4	1,68	+
22	1,26	1,73	+	-1,3	1,68	+	1,24	1,98	+	-1,3	1,68	+
23	1,6	1,9	+	0,43	1,67	+	1,85	1,71	-	1,72	1,67	-
24	2,39	1,96	-	-1,4	1,68	+	1,42	1,9	+	-0,8	1,67	+
25	1,97	2,17	+	-0,2	1,69	+	2,19	1,9	-	1,26	1,68	+
26	0,54	0,56	+	-2,2	1,67	+	1,55	1,79	+	0,11	1,67	+
27	0,91	0,58	-	-1,2	1,69	+	1,03	2,15	+	-1,0	1,69	+
28	0,73	0,54	-	-2,8	1,67	+	1,27	1,79	+	-0,9	1,67	+
29	1,37	2,15	+	-1,2	1,67	+	1,89	1,74	-	0,39	1,67	+
30	0,69	0,55	-	-2,7	1,67	+	1,39	1,85	+	-1,2	1,67	+
31	0,69	0,55	-	-0,9	1,69	+	1,04	2,09	+	-0,3	1,68	+
32	0,62	0,54	-	-2,0	1,67	+	1,01	1,79	+	-1,1	1,68	+
33	0,68	0,47	-	-1,8	1,67	+	0,69	0,55	-	-0,5	1,67	+

При оценке стационарности средних значений и дисперсий для последовательных частей ряда применяются критерии Стьюдента и Фишера, также обобщенные для особенностей гидрометеорологической информации. Анализ по этим критериям осуществляется после того, как проведена оценка на отсутствие резко отклоняющихся экстремумов, существенно влияющих на значения сред-

них 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 одинаковой или разной длины, причем границы разбиения желательнее связать с датами предполагаемого нарушения стационарности.

В итоге, проанализировав полученные результаты, можно принять гипотезу однородности и стационарности эмпирических распределений для всех пунктов наблюдений за среднегодовыми и максимальными расходами воды. Причем для данных по многим створам нельзя принять однозначные решения, так как различные критерии показывают противоположенные результаты.

Вызывает сомнение применение к гидрологическим характеристикам, в частности расходу воды, понятия случайной величины. С точки зрения математики, выборка исходных данных, впоследствии используемых при решении статистической задачи, всегда получается в результате эксперимента, проводимого при неизменных условиях.

Выводы

Особенность большинства статистических критериев состоит в том, что они разработаны для нормального распределения и случайной независимой выборки, в то время как ряды гидрологических характеристик, имеют значительную корреляцию и их распределения являются асимметричными [11-13]. Поэтому окончательный вывод об однородности или неоднородности распределения экстремальных гидрологических событий основывается на учете генезиса их формирования. Анализ таблиц 2, 3 приводит к следующим результатам.

Однородности по критерию Диксона для наибольших среднегодовых расходов соответствуют лишь 20 рядов из 33, а для наименьших все 33 являются однородными. Критерий Смирнова – Граббса показывает однородность среднегодовых расходов, как для всех наибольших расходов, так и для всех наименьших по всем створам.

Однородность максимальных расходов по критерию Диксона для максимальных членов ряда составляет 15 из 33 створов, а наименьшие все данные являются однородными.

Критерий Смирнова – Граббса показывает однородность наибольших значений в ряду максимальных расходов для 15 из 33 створов, наименьшие значения расходов все однородные.

Что касается стационарности, здесь следующие результаты.

По критерию Фишера являются стационарными 15 рядов среднегодовых расходов и 20 рядов максимальных. По критерию Стьюдента стационарными данные у 31 створа для среднегодовых данных и 24 створа для максимальных.

Результаты оценок однородности рядов годового стока по выборочным средним и дисперсиям пока не дают оснований говорить о наличии направленных изменений в характере многолетних колебаний водных ресурсов рек Новосибирской области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 33 – 101 – 2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России, 2003. – 74 с.
2. Методические рекомендации по методам оценки однородности и стационарности рядов гидрологических характеристик при разработке Территориальных строительных норм (ТСН). – СанктПетербург: ГГИ, 2003. – 48 с.
3. Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока. – Л.: Гидрометеиздат. – 1984. – 78 с.
4. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению расчетных значений по неоднородным данным. – Санкт-Петербург, Нестор-История, 2010. – 162 с.
5. Шевнина Е. В. Анализ стационарности многолетних рядов слоя стока весеннего половодья на водосборах Российской Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2011. №1 (87). – С. 116 – 121.
6. СНиП 2.01.14 – 82. Определение расчетных гидрологических характеристик. Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1985. – 36 с.
7. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 448 с.
8. Зайков Б. Д. Средний сток и его распределение в году на территории СССР. – Л., М.: Гидрометеиздат, 1946. – 148 с.
9. Чеботарев А. И. Гидрологический словарь. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 308 с.
10. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометеорологических наблюдений. – Типография «Вектор ТиС», Нижний Новгород, 2007. – 133 с.
11. Сикан А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – Санкт Петербург, 2007. – 278 с.
12. Рождественский А.В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат. 1977. – 270 с.
13. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 424 с.

© В. М. Топоров, О. И. Пищимко, 2021