

сия, 1982, 12 мая. 7. Молоков М.В., Шифрин В.Н. Очистка поверхностного стока с территорий городов и промышленных площадок. — М., 1977. — 104 с. 8. Особенности состава поверхностного стока с территории городов/А.А.Бухолдин, Э.И.Горяинов, А.В.Рокшевская и др. — В кн.: Проблемы охраны вод. Харьков, 1974, вып. 5, с. 61–69. 9. Климова В.Ф. Перспективы использования торфа для очистки поверхностного стока с городских территорий. — БелНИИНТИ Госплана БССР. Обзор. информ. — Минск, 1978.—32 с. 10. Временная инструкция по проектированию сооружений для очистки поверхностных сточных вод. СН 497–77. М., 1978. — 40 с. 11. Временные рекомендации по предотвращению загрязнения вод поверхностным стоком с городской территории (дождевыми, тальми и поливо-мочными водами). М., 1975. — 38 с. 12. Инструкция по проектированию сельскохозяйственных полей орошения. ВСН-11-28-76. — М., 1976. — 34 с. 13. Казарян В.А., Залетова Н.А., Арцимович П.М. Очистка поверхностного стока с территории больших городов. Обзор. информ. ГОСИНТИ. Вып. 20. М., 1980. — 24 с. 14. Методические указания и программы для ЭВМ по проектированию водного режима осушаемых земель на основе воднобалансовых расчетов. — Минск, 1980. — 67 с. 15. Михальцев А.И. Модификация формулы для расчета испарения с орошаемых площадей биоклиматическим методом. — В кн.: Конструкции и расчеты осушительно-увлажнительных систем. Минск, 1979, вып. 4, с. 16–21. 16. Орошение пастбищ и сенокосов сточными водами/Н.Г.Андреев, В.М.Новиков, М.П.Конардов и др. — М., 1977. — 112 с. 17. Растительный покров Белоруссии (с картой М. 1:1 000 000). — Минск, 1969. — 176 с.

УДК 556.047:556.18

В.В.ДРОЗД, канд.геогр.наук (ЦНИИКИВР),
Е.Е.ПЕТЛИЦКИЙ

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ К АНАЛИЗУ ОДНОРОДНОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ

Статистическая обработка данных наблюдений предполагает применение однородной информации. Анализ однородности гидрологических рядов является неотъемлемым требованием при любом использовании данных наблюдений в условиях все возрастающего антропогенного нарушения водного режима.

Такой анализ выполняется в два этапа: первичный (графический) и статистический [1–5].

Существуют параметрические и непараметрические статистические критерии, используемые для оценки однородности ряда и существенности расхождений между выборками (совокупностями).

Параметрические критерии применяются в тех случаях, когда выборки имеют нормальное или близкое к нему распределение. Среди параметрических критериев широко известны критерии Стьюдента, хи-квадрат и др.

Непараметрические критерии используются в том случае, если распределение ряда отличается от нормального или оно неизвестно. Применение этих критериев основано на упорядоченности и ранжировании значений наблюдаемых величин или их разностей. Наиболее просты и эффективны критерии Колмогорова—Смирнова и Уилкоксона (Вилкоксона) [3].

Однако применение как одних, так и других критериев к гидрологическим рядам имеет ряд ограничений [6–8] (кроме отмеченного выше вида распределения):

Виды ограничений	Критерии	
	параметрические	непараметрические
Распределение ряда	Имеется	Не имеется
Случайность выборки	”	Имеется
Дисперсии (равенство)	”	Не имеется

Непараметрические критерии в общем случае имеют меньшую мощность, но для малых выборок они эффективнее параметрических при соблюдении упомянутых ограничений [6]. А так как в гидрологии чаще всего имеются малые выборки, то преимущество непараметрических критериев в этих условиях определено.

Общим ограничением использования статистических критериев к гидрологическим рядам является степень случайности. Имеются попытки снять это ограничение применительно к параметрическим критериям Стьюдента и Фишера [9]. Для этого разработаны поправочные коэффициенты к статистике Стьюдента при различной корреляции между смежными величинами ряда и между самими рядами. Однако на практике получить достоверные показатели корреляции для данного водосбора по группе других водосборов проблематично, так как процесс преобразования осадков в сток происходит на конкретном водосборе по своим закономерностям. Поэтому на практике чаще всего с наличием внутрирядной и межрядной корреляции приходится не считаться.

Далее необходимо выяснить, меняется ли изменчивость характеристик стока при антропогенном нарушении водного режима. Для этого привлекаются данные по ряду мелиорированных водосборов. Отбор данных выполнен по тем объектам, по которым отмечается нарушение однородности характеристик стока и имеются ряды наблюдений не менее 10 лет до и после мелиорации. Результаты анализа однородности рядов годового и минимального стока и, соответственно, коэффициентов изменчивости приведены в табл. 1.

Для анализа стока использован непараметрический критерий Уилкоксона при 0,05 уровне значимости. Однородность коэффициентов изменчивости оценена по F-критерию [8]. Как видно, при неоднородности рядов стока нарушается и однородность коэффициентов изменчивости. Отсюда можно заключить, что применение параметрических критериев к анализу однородности рядов стока и по этому ограничению неправомерно.

При анализе влияния вида распределения на эффективность статистических критериев получены выводы [1, 2] о том, что параметрические критерии более надежны для рядов, имеющих нормальное распределение или мало отличающееся от него, а непараметрические — для асимметричных. Это естественно и принято в математической статистике [6, 7].

Таким образом, в настоящее время широкое применение параметрических критериев к гидрологическим рядам ограничено неопределенностью введения поправок на внутрирядные связи и недостаточной их эффективностью для рядов с асимметричным распределением. Достоверность использования непараметрических критериев к проверке однородности рядов стока снижается и по ряду других причин, и в первую очередь вследствие ограниченного объема выборок и различия их по водности. Показано [2], что мощность критериев имеет обратную зависимость от изменчивости характеристик ряда и повышается при увеличении объема наблюдений.

Однородность рядов стока и коэффициентов изменчивости

Река	Пункт	Показатель	Период наблюдений		Нулевая гипотеза по критериям	
			до	после	сток	коэффициент изменчивости
Орлянка	Хоново	г	15	15	—	+
		м	15	15	—	—
Мерчанка	Ставок	г	11	12	—	+
		м	10	13	—	—
Оресса	Верхутино	г	16	18	—	—
		м	15	19	—	—
Чертьень	Некрашевка	г	21	15	—	+
		м	21	16	—	—
Мышанка	Березки	г	10	10	—	—
		м	10	10	—	+

П р и м е ч а н и я: 1. г, м — годовой и минимальный суточный сток летне-осенней межени, коэффициенты изменчивости. 2. Нулевая гипотеза (—) — отвергается, (+) — принимается.

Эффективность статистического анализа однородности гидрологических рядов снижается и при различии неоднородных выборок по водности [3–5]. При близкой водности достаточно использовать выводы при 0,05 уровне значимости. При различии водности, превышающей ошибки средних величин выборки, целесообразно принять уровень значимости 0,01 или 0,10 в зависимости от сочетания тенденции изменения и водности. Тенденция однозначного изменения гидрологических величин и водности предполагает уровень значимости 0,01, при различной их направленности — 0,10 [5].

Как уже отмечено, объективность применения непараметрических критериев в условиях ограниченной информации и различия водности выборок также снижается. В этой связи мы предложили дополнительно оценивать существенность нарушения однородности с помощью генетического анализа [3–5]. Суть его заключается в сопоставлении погрешности среднего значения выборки, относящейся к естественному режиму, и величины изменения гидрологической характеристики. Если средняя квадратическая погрешность среднего ненарушенной выборки превышает величину изменения, то ряд можно считать однородным, при обратном соотношении — неоднородным.

Следует отметить преимущества непараметрических критериев Уилкоксона для малых выборок и Колмогорова-Смирнова — для больших [2–5]. В работах [6, 10] отмечена также высокая эффективность критерия Уилкоксона, Манна, Уитни. Сравнительный анализ на массовом материале результатов проверки неоднородности рядов по этим критериям показал, что они дают практически одни и те же выводы.

Мощность статистических критериев увеличивается при росте объема выборки. Она возрастает при переходе от двустороннего критерия к одностороннему. Поэтому, зная тенденцию изменения стока или других гидрологиче-

ских характеристик, целесообразно применять односторонний критерий. Если же тенденция неизвестна или нет гарантии, что исследуемый метод имеет преимущества, то применяется двусторонний критерий. Это применимо, например, для анализа характеристик, имеющих дискретные значения, когда графический анализ выявления неоднородности невозможен или затруднен.

Неполная случайность рядов стока связана с наличием внутрирядной корреляции. Ввиду невозможности надежного учета этого целесообразно при анализе однородности рядов более строго подходить к выбору уровня значимости. Так, при достоверной высокой внутрирядной корреляции будет полезно для учета этого фактора принимать 0,01 уровень значимости вместо 0,05.

В заключение можно сделать выводы о том, что для анализа однородности рядов наиболее эффективно применение непараметрических критериев. Надежные результаты при этом могут быть получены с помощью рангового критерия Уилкоксона и Колмогорова—Смирнова. Для непрерывных временных рядов с известной тенденцией изменения следует применять односторонние критерии. Для учета внутрирядной корреляции при возможности надежного ее определения можно пользоваться более строгим — 0,01 уровнем значимости вместо 0,05.

При ограниченной информации и различии выборок, естественной и нарушенной по водности, объективности статистических критериев снижается. В этом случае при анализе неоднородности рядов целесообразно дополнительно использовать генетический анализ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д р о з д В.В. О некоторых вопросах статистической обработки подземного стока. — В кн.: Водные ресурсы и их использование. Минск, 1970, с. 74—81.
2. Д р о з д В.В. Статистическая проверка однородности рядов речного стока. — В кн.: Проблемы охраны и использования водных ресурсов. Харьков, кн. II, с. 33—40.
3. Д р о з д В.В. О проверке нарушения однородности гидрологических данных. — В кн.: Комплексное использование водных ресурсов. М., 1973, с. 233—240.
4. Д р о з д В.В. О статистическом анализе однородности данных наблюдений. — В кн.: Труды ВНИИГМИ. М., 1977, вып. 32, с. 79—84.
5. Анализ однородности гидрологических рядов: Метод. рекомендации. — Минск, 1977. — 36 с.
6. З а к с Л. Статистическое оценивание. — М., 1976. — 599 с.
7. М и т р о п о л ь с к и й А.К. Техника статистических вычислений. — М., 1971. — 576 с.
8. Р о ж д е с т в е н с к и й А.В., Ч е б о т а р е в А.И. Статистические методы в гидрологии. — Л., 1984. — 424 с.
9. Р о ж д е с т в е н с к и й А.В., С а х а р ю к А.В. Обобщение критериев однородности Стьюдента и Фишера на случай коррелированных во времени и пространстве гидрологических характеристик. — В кн.: Труды ГГИ. Л., 1981, вып. 282, с. 51—71.
10. Д р о з д В.В. Нарушение однородности рядов стока под влиянием антропогенных и природных факторов. — В кн.: Влияние хозяйственной деятельности на водный режим. М., 1982, с. 8—14.