

УДК 556.048

к.т.н., проф. Рогулин В. В.,
Берега А. С.
(ЛНАУ, Луганск, ЛНР)

МЕТОДЫ ПРИВЕДЕНИЯ РЯДОВ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ИХ ПАРАМЕТРОВ К МНОГОЛЕТНЕМУ ПЕРИОДУ С УЧЁТОМ НАБЛЮДЕНИЙ МЕНЕЕ 6 ЛЕТ

Проведено сравнение методов определения гидрологических характеристик и приведения их к многолетнему периоду. Определены ситуации для каждого метода, в которых их применение наиболее целесообразно.

Ключевые слова: гидрометеорологические изыскания, водомерный пост, пункты-аналоги, средняя квадратическая погрешность, кратковременные наблюдения, коэффициент вариации.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Расчёт гидрологических характеристик имеет важное научное и практическое значение, являясь необходимым разделом (в составе инженерно-гидрометеорологических изысканий) при проектировании любых видов хозяйственной деятельности в пределах долин рек и временных водотоков. Гидрологические характеристики представляют собой количественные оценки элементов гидрологического режима (годовой и сезонный сток, максимальные расходы воды, стои стока весеннего половодья, минимальные расходы за периоды летне-осенней и зимней межени). В частности, определение количественных параметров водного режима требуется при проектировании переходов линейных объектов (дорог, трубопроводов, кабелей ВОЛС, линий ЛЭП и т. д.) через водные преграды, оценке площадей затоплений территории, расчётах интенсивности русловых деформаций. Вместе с тем определение гидрологических характеристик на участках рек, не освещённых данными наблюдений, является задачей, требующей наличия большого перечня исходных данных. Следовательно, очень важным является использование инженером-гидрологом наиболее надёжных методов расчёта гидрологических характеристик [2].

Постановка задачи. Задачей научной статьи является рассмотрение и сравнение

3-х основных методов гидрологических расчётов: метода отношений, метода уравнений регрессии и графического метода.

Метод отношений и графический метод учёта материалов кратковременных полевых гидрометеорологических изысканий предусматривают предварительное приведение к многолетнему периоду параметров и квантилей распределения речного стока исследуемого района (стационарные пункты наблюдений) [1].

Изложение материала и его результаты. Метод отношений. Восстановление значений стока за каждый год, а также приведение нормы и квантилей распределения к многолетнему периоду допускается осуществлять по методу отношений, основанному на приблизительном равенстве модульных коэффициентов в пункте с кратковременными наблюдениями и в пунктах-аналогах.

Метод отношений используется при выполнении условия $R \geq R_{кр}$, где R определяется по пространственной корреляционной функции или матрице парных коэффициентов корреляции по данным пунктов-аналогов. Пункты-аналоги обычно выбираются по наименьшему расстоянию между центрами тяжести водосборов проектируемого пункта и пунктов-аналогов. Число привлекаемых в расчётах аналогов определяется как степень гидрологической изученности, так и пространственной

однородностью рассматриваемой гидрологической характеристики. Установлено, что случайные средние квадратические (стандартные) погрешности уменьшаются лишь до трёх аналогов. При наличии нескольких аналогов расчёты осуществляются последовательно по всем аналогам, и результаты осредняются с учётом случайных средних квадратических погрешностей, полученных на независимом от расчёта материале наблюдений.

Средняя квадратическая погрешность расчёта значений стока за каждый год, нормы стока и квантилей распределения определяется по пунктам-аналогам. Для этой цели выбираются два пункта с гидрометрическими наблюдениями в однородном гидрологическом районе проектирования, один из которых условно принимается в качестве исследуемого пункта, а другой — в качестве пункта-аналога. Расчётное значение стока определяется столько раз, сколько имеется наблюдений в створе, принимаемом за исследуемый. В дальнейшем определяется средняя квадратическая погрешность определения годового значения или нормы стока или квантилей распределения по данным одного года наблюдений. В случае, когда рассчитаны стандартные погрешности гидрологических характеристик по данным за один год, при увеличении продолжительности наблюдений рассчитываются стандартные погрешности в первом приближении. Это наиболее типичный случай расчётов, т. к. получить стандартные погрешности методом отношений возможно лишь на независимом от расчёта материале наблюдений применительно к двум пунктам с регулярными и достаточно продолжительными наблюдениями в однородном гидрологическом районе исследования. На основании выполненных расчётов может быть рассчитано необходимое число лет наблюдений по заданной стандартной погрешности расчётной гидрологической характеристики. Полученное число лет может быть использовано при определении

числа лет полевых гидрометеорологических изысканий [4].

Метод уравнений регрессии. Методика восстановления значений стока по уравнениям регрессии состоит в следующем. В случае, когда имеется один год кратковременных наблюдений, рассчитываются уравнения регрессии между наблюдениями за этот год и последовательно со всеми остальными годами, в которых имеются наблюдения в пунктах-аналогах, при условии, что количество пунктов-аналогов должно быть не менее 5. Наиболее эффективным методом, дающим наиболее качественные результаты приведения данных наблюдений к более длительному периоду, является метод расчёта, основанный на пространственных годовых уравнениях по данным наблюдений в однородном районе.

Методически задача решается следующим образом. При увеличении числа аналогов увеличивается надёжность и точность уравнений регрессии, что приводит к более точным результатам расчёта в исследуемом пункте. Но в этом случае уменьшается число восстановленных лет наблюдений. Обратная картина получается при уменьшении числа принятых в расчёт аналогов. Оптимальное число аналогов, задаваемых при расчёте уравнений регрессии, зависит от гидрологической изученности района исследования и пространственной связанности рассматриваемой гидрологической характеристики. Так, при слабой гидрологической изученности число аналогов, принимаемых в расчёт, может быть уменьшено, а при хорошо изученном в гидрологическом отношении районе исследования число аналогов может быть увеличено. Для дождевого стока, имеющего, как правило, слабую пространственную связанность, число пунктов может быть уменьшено по сравнению с другими гидрологическими характеристиками, имеющими большую пространственную связанность. Следовательно, при назначении наименьшего числа аналогов, которые будут использованы в дальнейших расчётах, необходимо учитывать приведённые сооб-

ражения. При этом возможны и другие гидрологические аспекты, поясняющие назначение наименьшего числа аналогов в регрессионном методе, зависящие от многих факторов, включая региональные особенности рассматриваемого района исследования.

В однородном гидрологическом районе проводятся стационарные гидрометрические наблюдения за изучаемой характеристикой x , а также имеются кратковременные наблюдения y в исследуемом пункте. Наблюдения в расчётном створе могут быть в различном временном интервале от $i=1$ до $i=n$, но, как правило, изыскания проводятся в последние годы к моменту проектирования. Индексация при значениях единая для всех постов: первый индекс обозначает годы наблюдений от $i=1$ до $i=n$, второй индекс — номер гидрометрического стационарного створа наблюдений от $j=1$ до $j=k$, расчётный створ имеет индекс $(k+1)$. Число лет наблюдений в расчётном створе L всегда меньше, чем в стационарных гидрометрических створах. Требуется восстановить сток в расчётном створе за годы, наблюдения по которым имеются в пунктах-аналогах. Для стационарных гидрометрических пунктов для каждого года наблюдений от $i=1$ до $i=n-L-1$ рассчитываются уравнения регрессии.

Восстановленные по уравнениям регрессии значения стока имеют заниженную дисперсию многолетних колебаний, что для инженерных гидрологических расчётов недопустимо, так как при этом занижается расчётное значение рассматриваемой гидрологической характеристики для зоны малых обеспеченностей (различные характеристики максимального стока и уровней воды) и завышается для зоны больших обеспеченностей (различные характеристики минимального стока, стока летней и зимней межени). Исключение систематических погрешностей в оценке коэффициента вариации и стандартного отклонения осуществляется путём перехода от уравнения регрессии к так называемому единому решению, когда в уравнении регрессии ис-

ключается значение коэффициента корреляции (он принимается равным единице). В этом случае принцип наименьших квадратов по шкале ординат заменяется принципом наименьших прямоугольников по шкалам ординат и абсцисс.

По восстановленным годичным значениям за многолетний период гидрометеорологических характеристик можно рассчитать параметры (норма, коэффициенты вариации, асимметрии и автокорреляции), а также квантили распределения.

Предложенная схема восстановления может применяться не только для кратковременных наблюдений за гидрологической характеристикой от одного до пяти лет, но и для более продолжительных наблюдений. В основе данного способа восстановления годичных значений, нормы и квантилей распределения лежит пространственная связанность исследуемой гидрометеорологической характеристики. Метод годичных уравнений регрессии, как правило, даёт меньшие стандартные погрешности, чем метод отношений, и рекомендуется в качестве основного метода расчёта гидрологических характеристик при наличии кратковременных наблюдений. Для построения кривой обеспеченности требуется знание трёх параметров: нормы, коэффициентов вариации и асимметрии или отношения коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации. Это соотношение рекомендуется рассчитывать на основе групповой оценки в однородном гидрологическом районе на основе индивидуальных оценок, получаемых по пунктам-аналогам.

Методы, изложенные в настоящей статье, могут быть использованы при числе лет наблюдений больше 5. Но в этом случае следует осуществить восстановление отсутствующей гидрометеорологической информации в соответствии с разделами 2 и 3 методических рекомендаций по определению расчётных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений [4], после чего осуществ-

вить тщательный анализ полученных данных. В качестве окончательных значений восстановленных рядов гидрометеорологических характеристик следует использовать средние арифметические значения за каждый год, полученные по каждому из рассмотренных методов расчёта. При этом осреднение результатов расчёта допускается осуществлять с весовыми коэффициентами, обратно пропорциональными дисперсиям стандартных погрешностей.

При наличии двух лет наблюдений будем иметь два уравнения с двумя неизвестными. Число уравнений регрессии может быть увеличено за счёт привлечения нескольких аналогов. Во всех случаях стандартные относительные погрешности расчёта коэффициентов вариации уменьшаются с увеличением числа лет наблюдений. При расчётах коэффициента вариации можно рекомендовать два-три аналога; при числе аналогов более трёх случайные стандартные погрешности практически не уменьшаются, а в некоторых случаях даже возрастают. При использовании одного аналога при двух годах наблюдений стандартные погрешности расчёта коэффициента вариации велики и не могут быть рекомендованы в качестве расчётных [4].

Графический метод. Для предварительной оценки коэффициентов вариации и квантилей распределения речного стока может быть использован графический способ путём построения кривой обеспеченности рассматриваемой характеристики речного стока на клетчатке вероятностей с фиксированным отношением C_s/C_v , полученным для исследуемого района. Шкала ординат на клетчатках вероятностей в данном случае должна быть представлена в виде модульных коэффициентов, значения которых определяются по фактическим наблюдениям в проектируемом пункте и норме стока, определённой ранее изложенными методами. Для определения расчётных значений стока необходимо иметь как минимум два года наблюдений в исследуемом пункте. По данным пунктов-аналогов рассчитывается эм-

пирическая обеспеченность значений стока, которые наблюдались в конкретные годы в пункте проектирования. Рассчитанные модульные коэффициенты k_i соответствующей эмпирической обеспеченности наносятся на клетчатку вероятности с выбранным фиксированным значением C_s/C_v . Разность между эмпирическими обеспеченностями стока за наблюдаемые годы должна быть не менее 10%. Полученные эмпирические точки k_i аппроксимируются прямой линией, которая продолжается до пересечения со шкалой коэффициентов вариации.

Графический способ рекомендуется и для предварительного определения расчётных значений стока заданной обеспеченности. Для этой цели значения модульных коэффициентов k_i , снятых с кривой распределения, которые рассчитаны по данным двух- или трёхлетних наблюдений, умножаются на норму стока, определённую с использованием кратковременных наблюдений.

Выводы. Метод уравнений регрессии рекомендуется в качестве основного метода восстановления отсутствующей гидрометрической информации за отдельные годы, а также при приведении параметров и квантилей распределения к многолетнему периоду при наличии кратковременных (от одного года до пяти лет) наблюдений, так как он даёт меньшие стандартные погрешности, чем метод отношений. Метод отношений может быть рекомендован при наличии очень хорошего аналога, например, когда водомерные посты расположены на одной реке со сравнительно небольшим приращением площади водосбора (менее пяти процентов). Этот метод даёт хорошие результаты, когда пункт наблюдений переносится из одного места в другое. В последнем случае приращение площади водосбора, как правило, очень малое. Графический метод может быть рекомендован только на предварительных стадиях проектирования. При расчётах с использованием метода отношений и регрессионного метода ввиду очень большого объёма вычислительных работ рекомендуется использовать персональные компьютеры (ПК).

Библиографический список

1. СП 33-101-2003. *Определение основных расчётных гидрологических характеристик [Текст]. — Введ. 2003-26-12. — М. : Госстрой России, 2004. — 73 с.*
2. *Методические указания по оценке влияния хозяйственной деятельности на сток средних и больших рек и восстановлению его характеристик [Текст]. — Л. : Гидрометеиздат, 1986. — 130 с.*
3. *Рождественский, А. В. Использование материалов кратковременных гидрометеорологических изысканий в расчётах стока [Текст] / А. В. Рождественский, А. Г. Лобанова // Метеорология и гидрология. — 1991. — № 12. — С. 84–92.*
4. *Методические рекомендации по определению расчётных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений [Текст] / А. В. Рождественский и др. — С-Пб : ГУ «Государственный гидрологический институт», 2004. — 67 с.*

© Рогулин В. В.© Берега А. С.

Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. СМІКГ ГОУ ЛНР ЛНАУ Несвитом В. Д., к.т.н., доц., и. о. зав. каф. СК ДонГТУ Псюком В. В.

Статья поступила в редакцию 25.09.18.

к.т.н., проф. Рогулін В. В., Берега А. С. (ЛНАУ, Луганськ, ЛНР)

МЕТОДИ ПРИВЕДЕННЯ РЯДІВ ГІДРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ЇХ ПАРАМЕТРІВ ДО БАГАТОРІЧНОГО ПЕРІОДУ З УРАХУВАННЯМ СПОСТЕРЕЖЕНЬ МЕНШЕ 6 РОКІВ

Проведено порівняння методів визначення гідрологічних характеристик і приведення їх до багаторічного періоду. Визначено ситуації для кожного методу, в яких їх застосування найбільш доцільне.

Ключові слова: *гідрометеорологічні дослідження, водомірний пост, пункти-аналоги, середня квадратична похибка, короткочасні спостереження, коефіцієнт варіації.*

PhD, Prof. Rogulin V. V., Bereza A. S. (LNAU, Lugansk, LPR)

METHODS FOR ATTRIBUTING SERIES OF HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS AND THEIR PARAMETERS TO A LONG-TERM PERIOD WITH REGARD TO OBSERVATIONS LESS THAN 6 YEARS

There has been made a comparison of methods for determining the hydrological characteristics and bringing them to a long-term period. The situations have been determined for each method where their using is more reasonable.

Key words: *hydrometeorological surveys, gauging station, points-analogues, mean square error, short-time observations, coefficient of variation.*