

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ ДОСТАТОЧНОСТИ И НЕДОСТАТОЧНОСТИ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

А.В. Звягинцева<sup>1</sup>, Ю.П. Аржаных<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Воронежский государственный технический университет

<sup>2</sup>Центр мониторинга и прогнозирования ЧС Воронежской области

Казенное учреждение Воронежской области «Гражданская оборона, защита населения и пожарная безопасность Воронежской области»

Рассмотрены вопросы прогнозирования опасных гидрологических явлений на водных объектах Воронежского региона при наличии данных гидрометрических наблюдений. В статье отмечено, что особое значение в вопросе повышения качества, как входной гидрометеорологической информации, так и получаемых прогнозов, играет не только усовершенствование способов измерения (определения), но и совершенствование методологии мониторинга гидрологических характеристик. Проведен обзор аналитических методов прогнозирования гидрологической обстановки для построения системы мониторинга и прогнозирования опасных гидрологических явлений на водных объектах Воронежской области.

**Ключевые слова:** мониторинг, прогнозирование, опасное гидрологическое явление, прогноз, гидрометрические наблюдения

### ВВЕДЕНИЕ

Мониторинг чрезвычайных ситуаций гидрологического характера на территории Воронежской области организован следующими организациями: Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ФГБУ «Воронежский областной центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»); Федеральным агентством водных ресурсов (отдел водных ресурсов по Воронежской области Донского бассейнового водного управления) и МЧС России (Главное управление МЧС России по Воронежской области). Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ФГБУ «Воронежский областной центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»):

- организует и обеспечивает функционирование подсистем государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды;
- обеспечивает поиск, получение (сбор), хранение, обработку (обобщение, систематизацию) и анализ информации о состоянии окружающей среды, происходящих в ней процессах, явлениях, об изменениях состояния окружающей среды: физических, химических, биологических и других показателей состояния окружающей среды и (или) их совокупности, характеризующих качество окружающей среды, о химическом и радиоактивном загрязнении поверхностных вод водных объектов (включая донные отложения), опасных гидрометеорологических явлений, состояния климатической системы;
- обеспечивает поиск, получение (сбор), хранение, обработку (обобщение, систематизацию) и анализ информации об объектах, оказывающих негативное воздействие на состояние окружающей среды, о характере, видах и об объеме такого воздействия;
- проводит оценку состояния окружающей среды и прогнозирование его изменений под воздействием природных и (или) антропогенных факторов;
- определяет связи между воздействием природных и (или) антропогенных факторов на окружающую среду и изменениями состояния окружающей среды;
- вырабатывает предложения о предотвращении негативного воздействия на окружающую среду и направляет их в правительство Воронежской области, органы местного самоуправления, юридическим лицам, индивидуальным предпринимателям;
- направляет в правительство Воронежской области, уполномоченные на осуществление государственного контроля (надзора), и правоохранительные органы информацию о нарушении нормативов в области охраны окружающей среды и предложения об устранении таких нарушений;

- направляет в правительство Воронежской области, органы местного самоуправления предложения для их учета при подготовке документов территориального планирования и (или) предложения об изменении указанных документов в целях формирования благоприятных условий жизнедеятельности человека, ограничения негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду;

- выпускает экстренную информацию о необходимости снижения негативного воздействия на окружающую среду природных и (или) антропогенных факторов;

- создает и эксплуатирует базы данных информационных систем, обеспечивающих хранение, обработку и систематизацию сведений от подсистем государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды;

- обеспечивает предоставление в правительство Воронежской области, органам местного самоуправления, а также юридическим и физическим лицам данных о состоянии и загрязнении окружающей среды;

- обеспечивает совместимость информационных ресурсов подсистем с Государственным фондом данных.

Федеральное агентство водных ресурсов (отдел водных ресурсов по Воронежской области Донского бассейнового водного управления):

- организует и обеспечивает функционирование подсистем государственного мониторинга водных объектов, государственного мониторинга внутренних морских вод и территориального моря Российской Федерации;

- обеспечивает поиск, получение (сбор), хранение, обработку (обобщение, систематизацию) и анализ информации о состоянии поверхностных водных объектов в части количественных и качественных показателей состояния водных ресурсов, получаемых в рамках наблюдений за состоянием дна, берегов, состоянием и режимом использования водоохранных зон и изменениями морфометрических особенностей водоемов, наблюдения за находящимися в федеральной собственности водохозяйственными системами, в том числе за гидротехническими сооружениями, эксплуатируемыми организациями, подведомственными Федеральному агентству водных ресурсов, а также наблюдения за объемом вод при водопотреблении и водоотведении на всех водных объектах;

- обеспечивает поиск, получение (сбор), хранение, обработку (обобщение, систематизацию) и анализ информации об объектах, оказывающих негативное воздействие на состояние водных объектов и водных ресурсов;

- готовит прогнозирование изменений состояния водных объектов, дна, берегов водных объектов, их морфометрических особенностей, водоохранных зон водных объектов, количественных и качественных показателей состояния водных ресурсов, состояния водохозяйственных систем, в том числе гидротехнических сооружений;

- определяет связи между воздействием природных и (или) антропогенных факторов на состояние водных ресурсов и изменениями качественного состояния водных ресурсов;

- вырабатывает предложения о предотвращении негативного воздействия на состояние водных ресурсов и водных объектов и направляет их в органы государственной власти, органы местного самоуправления, юридическим лицам, индивидуальным предпринимателям;

- направляет в органы государственной власти, уполномоченные на осуществление государственного контроля (надзора), и правоохранительные органы информацию о выявлении неудовлетворительного состояния водных объектов и водных ресурсов и предложения об устранении такого состояния;

- направляет в правительство Воронежской области, органы местного самоуправления предложения для их учета при подготовке документов территориального планирования и (или) предложения об изменении указанных документов в целях формирования благоприятных условий жизнедеятельности человека, ограничения негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на состояние водных ресурсов и водных объектов, обеспечения охраны и рационального использования природных ресурсов в интересах нынешнего и будущего поколений;

- в случае выявления негативного воздействия на состояние водных ресурсов и водных объектов, обеспечивает выпуск экстренной информации о необходимости снижения негативного воздействия;

- проводит оценку эффективности проводимых природоохранных мероприятий по охране водных объектов;

- создает и эксплуатирует базы данных информационной системы, обеспечивающей хранение, обработку и систематизацию сведений, полученных в результате мониторинга водных объектов, водных ресурсов;

- обеспечивает предоставление в правительство Воронежской области, органам местного самоуправления, а также юридическим и физическим лицам данных о состоянии водных объектов;
- обеспечивает совместимость информационных ресурсов подсистемы государственного мониторинга водных объектов с Государственным фондом данных.

МЧС России (Главное управление МЧС России по Воронежской области):

- совместно с правительством Воронежской области организует работы по созданию системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, а также по разработке и внедрению в установленном порядке показателей риска на территориях и объектах экономики;
- осуществляет информирование населения через средства массовой информации и по иным каналам о прогнозируемых и возникших чрезвычайных ситуациях, мерах по обеспечению безопасности населения и территорий, приемах и способах защиты, а также пропаганду в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций и безопасности людей на водных объектах.

## **РАЗДЕЛ. ОБЗОР АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ**

Определение расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений достаточной продолжительности осуществляют путем применения аналитических функций распределения ежегодных вероятностей превышения – кривых обеспеченностей [1-7].

Продолжительность периода наблюдений считают достаточным для объективного прогноза, если рассматриваемый период репрезентативен (представителен). Относительная средняя квадратическая погрешность расчетного значения исследуемой гидрологической характеристики не должна превышать 10% для годового и сезонного стоков. Для максимального и минимального стоков ошибка должна быть не больше 20%.

Если относительные средние квадратические погрешности превышают указанные пределы и период наблюдений нерепрезентативен, то необходимо осуществить приведение рассматриваемой гидрологической характеристики к многолетнему периоду.

Эмпирическую ежегодную вероятность превышения  $P_T$ , % гидрологических характеристик определяют по формуле:

$$P_{m\%} = \frac{m}{n+1} \cdot 100 \quad (1)$$

где  $m$  – порядковый номер членов ряда гидрологической характеристики, расположенных в убывающем порядке;  $n$  – общее число членов ряда.

Эмпирические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения строят на клетчатках вероятностей. Тип клетчатки вероятностей выбирают в соответствии с принятой аналитической функцией распределения вероятностей и полученного отношения коэффициента асимметрии  $C_s$  к коэффициенту вариации  $C_v$ .

Для сглаживания и экстраполяции эмпирических кривых распределения ежегодных вероятностей превышения, как правило, применяют трехпараметрические распределения: Крицкого - Менкеля при любом отношении  $C_s/C_v$ , распределение Пирсона III типа (биномиальная кривая) при  $C_s/C_v \geq 2$ , лог-нормальное распределение при  $C_s \geq (3C_v + C_{v3})$  и другие распределения, имеющие предел простирающаяся случайной переменной от нуля или положительного значения до бесконечности. При надлежащем обосновании допускается применять двухпараметрические распределения, если эмпирическое отношение  $C_s / C_v$  и аналитическое отношение  $C_s/C_v$ , свойственные данной функции распределения, приблизительно равны. При неоднородности ряда гидрометрических наблюдений (различные условия формирования стока) применяют усеченные и составные кривые распределения вероятностей.

Оценки параметров аналитических кривых распределения: среднее многолетнее значение  $Q$ , коэффициент вариации  $C_v$  и отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации  $C_s / C_v$ , устанавливают по рядам наблюдений за рассматриваемой гидрологической характеристикой методом приближенно наибольшего правдоподобия и методом моментов. На начальных стадиях проектирования допускается использование графоаналитического метода (метода квантилей).

Коэффициент вариации  $C_v$  и коэффициент асимметрии  $C_s$  для трехпараметрического гамма-распределения Крицкого - Менкеля следует определять методом приближенно наибольшего правдоподобия в зависимости от статистик  $\lambda_2$  и  $\lambda_3$ , вычисляемых по формулам:

$$\lambda_2 = \left( \sum_{i=1}^n \lg k_i \right) / (n - 1); \quad (2)$$

$$\lambda_3 = \left( \sum_{i=1}^n k_i \lg k_i \right) / (n - 1), \quad (3)$$

где  $k_i$  – модульный коэффициент рассматриваемой гидрологической характеристики, определяемый по формуле:

$$k_i = \frac{Q_i}{\bar{Q}}, \quad (4)$$

здесь  $Q_i$  – годовые значения расходов воды;  $\bar{Q}$  – среднее арифметическое значение расходов воды, определяемое в зависимости от числа лет гидрометрических наблюдений по формуле:

$$\bar{Q} = \sum_{i=1}^n Q_i / n. \quad (5)$$

По полученным значениям статистик  $\lambda_2$  и  $\lambda_3$  определяют коэффициенты вариации и асимметрии по номограммам.

Коэффициенты вариации  $C_v$  и асимметрии  $C_s$  определяют методом моментов по формулам:

$$C_v = (a_1 + a_2 / \pi) + (a_3 + a_4 / n) \check{C}_v + (a_5 + a_6 / \pi) \check{C}_v; \quad (6)$$

$$C_s = (b_1 + b_2 / n) + (b_3 + b_4 / n) \check{C}_s + (b_5 + b_6 / \pi) \check{C}_s, \quad (7)$$

где  $a_1, \dots, a_6; b_1, \dots, b_6$  – коэффициенты распределения Пирсона III типа и распределения Крицкого – Менкеля;  $\check{C}_v$  и  $\check{C}_s$  – соответственно смещенные оценки коэффициентов вариации и асимметрии, определяемые по формулам:

$$\check{C}_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n - 1}}, \quad (8)$$

$$\check{C}_s = \frac{\left[ n \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3 \right]}{\left[ C_v^3 (n - 1)(n - 2) \right]}. \quad (9)$$

При  $C_v < 0,6$  и  $C_s < 1,0$  коэффициенты вариации и асимметрии допускается определять по формулам (8) и (9) без введения поправок.

Расчетные значения отношения коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации, а также коэффициента автокорреляции между стоком смежных лет  $r$  (1) следует принимать как среднее из

значений, установленных по данным группы рек с наиболее продолжительными наблюдениями за рассматриваемой гидрологической характеристикой в гидрологически однородном районе с учетом площадей водосборов и других зональных факторов.

Для проверки однородности эмпирических оценок  $C_s/C_v$  и  $r$  используют случайные погрешности оценок параметров по специальным таблицам, полученным методом статистических испытаний или по аналитическим формулам. Если рассеяние эмпирических оценок  $C_s/C_v$  и  $r$  больше теоретического, то принятый район признают неоднородным, и он должен быть уменьшен до тех размеров, пока рассеяние эмпирических оценок и теоретические погрешности будут приблизительно равны.

Уточнение параметров распределений гидрологических характеристик допускается осуществлять методом объединения данных наблюдений по группе станций (постов) в пределах однородных районов. Рассматриваемая гидрологическая характеристика должна быть приведена к единым условиям формирования в однородном гидрологическом районе. Оценка гидрологической характеристики, приведенной к единым условиям формирования, является случайной величиной, распределение которой определяется объемом независимой информации.

Рассеяние оценок, вызванное ограниченностью данных наблюдений, обозначают через  $\varepsilon_{\text{случ}}$ , а рассеяние, обусловленное не устраненными приводкой различиями между водосборами, через  $\varepsilon_{\text{геогр}}$  полная дисперсия оценки  $\varepsilon_{\text{полн}}$  состоит из двух компонентов:

$$\varepsilon_{\text{полн}}^2 = \varepsilon_{\text{случ}}^2 + \varepsilon_{\text{геогр}}^2 \quad (10)$$

Полную дисперсию оценки  $\varepsilon_{\text{полн}}^2$  определяют по формуле:

$$\varepsilon_{\text{полн}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (A_i - \bar{A})^2}{k-1}, \quad (11)$$

где  $i$  – индекс (номер) объекта. Под объектом понимают либо водосборный бассейн, либо метеорологическую станцию;  $k$  – число совместно анализируемых объектов;  $a_i$  – оценка рассматриваемого параметра по  $i$ -му объекту;  $\bar{A}$  – средняя из оценок по всем объектам.

Случайную составляющую рассеяния оценок  $\varepsilon_{\text{случ}}^2$  вычисляют путем осреднения дисперсий оценок этих параметров по теоретическим формулам, полученным для отдельных объектов (26)-(28), или по результатам статистических испытаний.

Географическую составляющую рассеяния  $\varepsilon_{\text{геогр}}^2$  определяют по (10) как разность между полной и случайной дисперсиями. Если оценка  $\varepsilon_{\text{геогр}}^2$  имеет отрицательный знак, то ее принимают равной нулю.

Дисперсию результата совместного расчета определяют по формуле:

$$\varepsilon_{\text{ср}}^2 = \frac{\varepsilon_{\text{случ}}^2}{k} + \varepsilon_{\text{геогр}}^2. \quad (12)$$

Соотношение между случайной и географической составляющими определяет целесообразный состав объектов, обрабатываемых методом группового оценивания. При увеличении числа совместно анализируемых водосборов величина случайной составляющей ошибки уменьшается. Географическая составляющая должна увеличиваться за счет вовлечения водосборов, расположенных в пределах более обширной географической области, условия, формирования стока которых различаются более существенно. Допустимым (приемлемым) значением следует считать число водосборов, при котором географическая составляющая не превосходит случайную величину:

$$\varepsilon_{\text{геогр}} \leq \varepsilon_{\text{случ}}. \quad (13)$$

Результатом группового анализа является оценка параметра по совокупности собственных и объединенных наблюдений в виде средневзвешенного по точности каждой из оценок:

$$A_{совм} = \frac{A_{инд} \varepsilon_{cp}^2 + \bar{A} \varepsilon_{инд}^2}{\varepsilon_{инд}^2 + \varepsilon_{cp}^2}. \quad (14)$$

Стандартную ошибку такой оценки рассчитывают по формуле:

$$\varepsilon_{совм} = \frac{\varepsilon_{инд} \varepsilon_{cp}}{\sqrt{\varepsilon_{инд}^2 + \varepsilon_{cp}^2}}. \quad (15)$$

Для оценок асимметрии и коэффициентов автокорреляции результатом группового анализа является среднее значение из всех индивидуальных оценок в пределах однородного района.

Порядок выполнения группового анализа (с учетом пространственной коррелированности данных наблюдений) следующий:

- по каждому водосбору определяют параметры распределения гидрологических характеристик, используемые для совместного анализа и необходимые для вычисления стандартных ошибок параметра  $A$  по формулам (26), (28);
- по каждой паре водосборов оценивают коэффициенты межрядной корреляции  $R_{ij}(x)$ ;
- по выборке величин  $A_i$  оценивают среднее значение параметра:

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^k A_i}{k} \quad (16)$$

и полную дисперсию  $\varepsilon_{полг}^2$  по формуле (11);

- определяют значения коэффициентов корреляции  $R_{ij}(A)$  между оценками параметра  $A$  по теоретическим зависимостям;
- определяют стандартное отклонение  $\varepsilon_{нез}(A)$  оценок параметра  $A$  по выборкам объема  $n$ , характеризующее рассеяние оценок для случая независимых выборок и определяемое по формулам (26), (28) или по результатам статистических испытаний;
- стандартное отклонение параметра  $\varepsilon_{нез}(A)$ , характеризующее независимые выборки, корректируют на величину, учитывающую влияние корреляции между объединяемыми объектами:

$$\varepsilon_{случ}(A) = \varepsilon_{нез}(A) \sqrt{1 - r_{cp}(A)}, \quad (17)$$

среднее значение коэффициента корреляции между оценками параметра  $A$  по всем  $k$  водосборам. Найденное значение случайной составляющей используют для вычисления географической составляющей по формуле (10);

- если выполняется условие (13), то по формулам (14) и (15) рассчитывают погрешность результата объединенного расчета, средневзвешенную по точности оценку и ее стандартную ошибку.

На начальных стадиях проектирования допускается определение параметров биномиального распределения графоаналитическим методом по формулам:

$$S = (Q_5 + Q_{95} - 2Q_{50}) / (Q_5 - Q_{95}) \quad (18)$$

$$\sigma = (Q_5 - Q_{95}) / (\Phi_5 - \Phi_{95}) \quad (19)$$

$$\bar{Q} = Q_{50} - \Phi_{50} \sigma \quad (20)$$

где  $Q_5, Q_{50}, Q_{95}$  - значения расходов воды вероятности превышения соответственно 5 %, 50 %, 95 %, установленные по сглаженной эмпирической кривой распределения;  $\Phi_5, \Phi_{50}, \Phi_{95}$  - нормированные ординаты биномиальной кривой распределения, соответствующие вычисленному значению коэффициента скошенности  $S$ . Значение коэффициента асимметрии  $C_s$  определяют по функциональной зависимости от коэффициента  $S$ .

В случае неоднородности исходных данных гидрометрических наблюдений, когда рассматриваемый ряд состоит из неоднородных элементов гидрологического режима, эмпирические и аналитические кривые распределения устанавливают отдельно для каждой однородной совокупности.

Общую кривую распределения вероятностей превышения рассчитывают на основе кривых, установленных по однородным элементам одним из двух способов:

а) при наличии в каждом году наблюдений за всеми однородными элементами водного режима реки ( $n_1 = n_2 = n_3 = n$ ) ежегодную вероятность превышения  $P$  % рассматриваемой гидрологической характеристики при любом ее значении определяют по формуле:

$$P = [1 - (1 - P_1)(1 - P_2)(1 - P_3)] 100, \quad (21)$$

где  $P_1, P_2, P_3$  – ежегодные вероятности превышения однородных элементов.

Для двух однородных гидрологических характеристик формула (21) принимает вид:

$$P = (P_1 + P_2 - P_1 P_2) 100 \quad (22)$$

б) если в каждом году имеется, лишь одно значение элемента рассматриваемой гидрологической характеристики, ежегодные вероятности превышения при любом ее значении определяют по формуле:

$$P = \frac{n_1 P_1 + n_2 P_2 + n_3 P_3}{n_1 + n_2 + n_3}, \quad (23)$$

где  $n_1, n_2, n_3$  – число членов однородных элементов. Для двух генетически однородных элементов формула (23) принимает вид:

$$P = \frac{(n_1 P_1 + n_2 P_2)}{(n_1 + n_2)}. \quad (24)$$

При наличии в ряду наблюдений нулевых значений рассматриваемой гидрологической характеристики (например, минимальные расходы воды) ежегодные вероятности превышения определяют по формуле:

$$P = \frac{n_1 P_1}{(n_1 + n_2)}. \quad (25)$$

Вероятности превышения  $P_1, P_2, P_3$  в формулах (21) и (22) выражают в долях единицы, а в формулах (23)-(25) – в процентах.

Для наибольшего или наименьшего члена ряда наблюдений следует указывать доверительные интервалы эмпирической ежегодной вероятности превышения.

Если точки эмпирической кривой распределения значительно отклоняются от аналитической кривой, рекомендуется на клетчатке вероятностей для этих точек также указывать доверительные границы и оценивать их однородность.

При объединении данных наблюдений по группе станций, а также при оценке достаточной продолжительности рядов наблюдений рассчитывают случайные средние квадратические погрешности выборочных параметров и квантилей распределения.

Случайные средние квадратические погрешности выборочных средних значений определяют по приближенной зависимости:

$$\sigma_{\bar{Q}} = (\sigma_Q / \sqrt{n}) \sqrt{\frac{(1+r)}{(1-r)}}, \quad (26)$$

которую применяют при коэффициенте автокорреляции между смежными членами ряда  $r$ , меньшем 0,5. При больших коэффициентах автокорреляции используют формулу:

$$\sigma_{\bar{Q}} = (\sigma_Q / \sqrt{n}) \sqrt{\frac{1 + \frac{2r}{n(1-r)} \left( n - \frac{1-r^n}{1-r} \right)}{1 - \frac{2r}{n(n-1)(1-r)} \left( n - \frac{1-r^n}{1-r} \right)}} \quad (27)$$

Случайные средние квадратические ошибки коэффициентов вариации при  $C_s = 2C_v$  определяют по зависимости:

$$\sigma_{C_v} = \frac{C_v}{n + 4C_v^2} \sqrt{\frac{n(1 + C_v^2)}{2} \left( 1 + \frac{3C_v r_2}{1+r} \right)} \quad (28)$$

Случайные погрешности других параметров распределения, квантилей и коэффициентов автокорреляции между стоком смежных лет, рассчитанные методом моментов, следует определять по специальным таблицам, полученным методом статистических испытаний.

При наличии достоверных сведений о случайных относительных средних квадратических погрешностях исходных данных гидрометрических наблюдений оценки коэффициентов вариации и асимметрии уточняют по формулам:

$$C_v = \sqrt{(C_v^2 - \sigma_0^2)/(1 + \sigma_0^2)}; \quad (29)$$

$$C_s = \frac{1}{1 + 3\sigma_0^2} \sqrt{\frac{1 + \sigma_0^2}{C_{V_H}^2 - \sigma_0^2} \left[ \frac{C_{V_H}^3 (1 + \sigma_0^2)}{C_{V_H}^2 - \sigma_0^2} C_{S_H} - 6\sigma_0^2 \right]}, \quad (30)$$

где  $C_{V_H}, C_{S_H}$ , – соответственно коэффициенты вариации и асимметрии, рассчитанные по наблюдаемым значениям;  $\sigma_0$  – случайная относительная (в долях единицы) средняя квадратическая погрешность исходных данных гидрометрических наблюдений.

Параметры кривых распределения гидрологических характеристик при наличии обоснованных сведений о выдающихся значениях речного стока определяют следующим образом.

При учете одного выдающегося значения гидрологической характеристики, не входящего в непрерывный  $n$ -летний ряд данных гидрометрических наблюдений:

а) методом приближенного наибольшего правдоподобия в зависимости от статистик  $\lambda_2$ , и  $\lambda_3$ , определяемых по формулам:

$$\lambda_2 = \frac{1}{N} \left( \lg \frac{Q_N}{\bar{Q}} + \frac{N-1}{n-1} \sum_{i=1}^n \lg \frac{Q_i}{\bar{Q}} \right); \quad (31)$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{N} \left( \frac{Q_N}{\bar{Q}} \lg \frac{Q_N}{\bar{Q}} + \frac{N-1}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{\bar{Q}} \lg \frac{Q_i}{\bar{Q}} \right); \quad (32)$$

б) методом моментов – по формулам:

$$\bar{Q} = \frac{1}{N} \left( Q_N + \frac{N-1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i \right); \quad (33)$$

$$C_v = \sqrt{\frac{1}{N} \left[ \left( \frac{Q_N}{\bar{Q}} - 1 \right)^2 + \frac{N-1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_i}{\bar{Q}} - 1 \right)^2 \right]}. \quad (34)$$

При учете одного выдающегося значения гидрологической характеристики, входящего в  $n$ -летний ряд данных гидрометрических наблюдений:

а) методом приближенного наибольшего правдоподобия в зависимости от статистик  $\lambda_2$ , и  $\lambda_3$ , определяемых по формулам:



$$\lambda_2 = \frac{1}{N} \left( \lg \frac{Q_N}{\bar{Q}} + \frac{N-1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \lg \frac{Q_i}{\bar{Q}} \right); \quad (35)$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{N} \left( \frac{Q_N}{\bar{Q}} \lg \frac{Q_N}{\bar{Q}} + \frac{N-1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{Q_i}{\bar{Q}} \lg \frac{Q_i}{\bar{Q}} \right); \quad (36)$$

б) методом моментов – по формулам:

$$\bar{Q} = \frac{1}{N} \left( Q_N + \frac{N-1}{n} \sum_{i=1}^{n-1} Q_i \right); \quad (37)$$

$$C_v = \sqrt{\frac{1}{N} \left[ \left( \frac{Q_N}{\bar{Q}} - 1 \right)^2 + \frac{N-1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \left( \frac{Q_i}{\bar{Q}} - 1 \right)^2 \right]}. \quad (38)$$

В формулах (31) - (38)  $\bar{Q}$  – среднеарифметическое значение, рассчитанное с учетом выдающегося значения расхода воды; n – число лет непрерывных наблюдений; N – число лет, в течение которых выдающееся значение гидрологической характеристики не было превышено.

Использование формул (31)-(38) допускается лишь в том случае, когда исторические сведения о выдающемся гидрологическом значении и числе лет его неперевышения достаточно обоснованы. Произвольное задание  $Q_N$  недопустимо.

Боковую приточность между смежными створами определяют одним из следующих способов:

- суммированием расходов воды притоков с учетом времени добегающих, впадающих на участке между двумя створами:

- по разности средних расходов воды в нижнем и верхнем створах участка реки;
- методом условного водного баланса;
- по модулю стока, определенному по карте для частной площади [6].

При недостаточности данных гидрометрических наблюдений параметры кривых распределения вероятностей гидрологических характеристик, а также основных элементов расчетного гидрографа необходимо приводить к многолетнему периоду с привлечением данных наблюдений пунктов-аналогов.

Приведение рассматриваемой гидрологической характеристики к многолетнему периоду с привлечением данных наблюдений пунктов-аналогов осуществляют в тех случаях, когда средняя квадратическая погрешность расчетного значения гидрологической характеристики превышает 10 % для годового и сезонного стоков. Для максимального и минимального стоков, когда расчетная погрешность больше 20%.

При выборе пункта-аналога основным критерием является наличие синхронности в колебаниях речного стока расчетного створа и створов-аналогов, которые количественно выражают через коэффициент парной или множественной (при одновременном использовании нескольких аналогов) корреляции между стоком в этих пунктах.

При выборе аналогов следует учитывать как возможно большую продолжительность наблюдений в этих пунктах, так и более тесные связи между стоком в приводимом к многолетнему периоду пункте и стоком в пунктах-аналогах.

При выборе пунктов-аналогов необходимо учитывать пространственную связанность рассматриваемой гидрологической характеристики, которую количественно выражают через матрицу парных коэффициентов корреляции или пространственную корреляционную функцию, представляющую собой зависимость коэффициентов парной корреляции стока рек от расстояния между центрами тяжести водосборов.

Матрицы парных коэффициентов корреляции и корреляционные функции определяют в однородном гидрологическом и физико-географическом районе.

При восстановлении значений стока за отдельные годы и расчете параметров и квантилей распределения необходимо производить статистическую оценку значимости и устойчивости получаемых решений с определением случайных и систематических погрешностей.

При приведении допускается использование гидрометрической информации, а также метеорологической и другой информации, период наблюдений за которой превышает период наблюдений за рассматриваемой гидрологической характеристикой.

При привлечении метеорологической и другой информации могут быть использованы региональные зависимости рассматриваемой гидрологической характеристики от факторов, ее определяющих.

Приведение гидрологических рядов и их параметров распределения к многолетнему периоду, как правило, осуществляют аналитическими методами. Для предварительного приведения допускается использование графических и графоаналитических методов.

При расчете параметров распределения и значений стока за отдельные годы  $Q_i$  с использованием аналитических методов, основанных на регрессионном анализе, должны соблюдаться следующие условия:

$$n' \geq (6 - 10); R \geq R_{кр}; R / \sigma_R \geq A_{кр}; k / \sigma_k \geq B_{кр} \quad (39)$$

где  $n'$  – число совместных лет наблюдений в приводимом пункте и пунктах-аналогах ( $n' \geq 6$  при одном аналоге,  $n' \geq 10$  при двух и более аналогах) или число пунктов-аналогов при восстановлении с привлечением кратковременных наблюдений ( $n' \geq 6$ );  $R$  – коэффициент парной или множественной корреляции между значениями стока исследуемой реки и значениями стока в пунктах-аналогах;  $k$  – коэффициент уравнения регрессии;  $\sigma_k$  – средняя квадратическая погрешность коэффициента регрессии;  $R_{кр}$  – критическое значение коэффициента парной или множественной корреляции (обычно задается  $\geq 0,7$ );  $A_{кр}$ ,  $B_{кр}$  – критические значения отношений  $R/\sigma_R$  и  $k/\sigma_k$  соответственно (обычно задаются  $\geq 2,0$ ).

Если хотя бы один из коэффициентов уравнения регрессии не удовлетворяет условию (39), то это уравнение не используют для приведения к многолетнему периоду.

В слабо изученном в гидрологическом отношении районе  $R_{кр}$ ,  $A_{кр}$  и  $B_{кр}$  могут быть уменьшены, а в хорошо изученном – увеличены. При увеличении значений  $R_{кр}$ ,  $A_{кр}$  и  $B_{кр}$  возрастает точность, но уменьшается объем восстановленных данных [6].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, с учетом рассмотренных данных происходит построение системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, гидрологического характера на водных объектах Воронежской области. К сожалению, информация о гидрологическом режиме рек и водоемов, необходимая для анализа риска развития половодья и прогноза его характеристик, имеется в основном, только для небольшой части речной сети. На водных объектах сохранилась явно недостаточная сеть гидрометеорологических станций и постов, измерения на которых производятся с применением в основном устаревших методов и измерительных приборов.

Особое значение в вопросе повышения качества, как входной гидрометеорологической информации, так и получаемых прогнозов, играет не только усовершенствование способов измерения (определения), но и совершенствование методологии мониторинга гидрологических характеристик. В настоящее время существует достаточно много технических решений, позволяющих создать в необходимом объеме автоматизированную сеть, включающую в себя группу модулей сбора данных (приборы, датчики), размещенных на интересующих участках гидрологической сети. Кроме этого необходимы каналы связи и центр обработки получаемой информации, где применяется специализированное программное обеспечение, обрабатывающее поступающие с модулей сбора данных сигналы о наблюдаемых гидрометрических характеристиках [8, 9]. Например, принципиальная функциональная схема системы автоматизированного мониторинга гидрологических характеристик и оперативного прогнозирования наводнений и паводков [8, 9], предлагаемая ООО «НПП «Энергетические и информационные технологии» БелГУ, представлена на рис.



Функциональная схема системы автоматизированного мониторинга гидрологических характеристик и оперативного прогнозирования наводнений и паводков [8]

В рассматриваемой функциональной схеме средствами прикладного программного обеспечения автоматизированного рабочего места (АРМ) должна обеспечиваться реализация следующих сервисов: фильтрация входных данных концентратора, построение векторов параметров входных данных с объектов расположения измерительно-вычислительных комплексов (ИВК), построение прогнозов развития опасных гидрологических явлений на основе сформированных векторов входных параметров. Выходные данные программного обеспечения АРМ, представляют собой текущие и прогнозируемые уровни поверхности воды в зоне влияния на исследуемый объект водопользования, должны отображаться в виде векторных объектов на цифровой карте-схеме прилегающей местности. На основании прогноза развития наводнения либо паводка принимается решение по заблаговременному оповещению населения, проживающего в районе возможного затопления (подтопления) руководителей предприятий, попадающих в зону риска.

## PREDICTION OF THE HYDROLOGICAL SITUATION ON WATER OBJECTS OF VORONEZH REGION IF THE SUFFICIENCY AND INSUFFICIENCY OF HYDROMETRIC DATA IS PRESENT

A.V. Zvyagintseva<sup>1</sup>, Y.P. Arzhanykh<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Voronezh State Technical University

<sup>2</sup>Centre for Monitoring and Forecasting of Emergency Situations of the Voronezh region  
The public institution of the Voronezh region "Civil defense,  
civil protection and fire safety of the Voronezh region"

Issues of prediction hazardous hydrological phenomena on water bodies of the Voronezh region in the presence of hydrometric observations are considered. In article it is noted, that for improvement of quality as entrance hydro-meteorological information, and for forecasting, the special role belongs not only to improvement of the ways of measurement (definition), but also to improving the methodology of monitoring of hydrological characteristics. The review of analytical methods of forecasting of hydrological conditions for construction of system of monitoring and forecasting of the dangerous hydrological phenomena on water objects of the Voronezh area is executed.

**Keywords:** monitoring, forecasting, the dangerous hydrological phenomenon, the forecast, hydrometric supervision

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Курдов А.Г. Водные ресурсы Воронежской области: формирование антропогенное воздействие, охрана и расчеты / А.Г. Курдов. - Воронеж: Изд-во Воронежского университета, 1995. - 224 с.
2. Памятка «Защита и действия населения при стихийных бедствиях гидрологического характера и гидродинамических авариях» / преподавательский состав УМЦ ГОЧС области, под ред. В.П. Котова. - Учебно-методический центр ГОЧС Воронежской области – Воронеж, 2008. – 13 с.
3. Прогноз природных, техногенных, биологических и социальных чрезвычайных ситуаций на территории Воронежской области на 2011 год / Главное управление МЧС России по Воронежской области.
4. СП 33-101-2003 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик».
5. ГОСТ Р 22.1.08-99 «Мониторинг и прогнозирование опасных гидрологических явлений и процессов».
6. Комплекс гидрологических задач. Руководство пользователя – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.gisinfo.ru/download/doc.htm>.
7. Кунгурцев С.А. Автоматизированная система оперативного оповещения о разливах рек /С.А. Кунгурцев, С.А. Жуков, В.И. Соловьев, М.В. Кумани, А.В. Апухтин // Экологические системы и приборы. 2012. № 4 С. 48–51.
8. Звягинцева А.В. Мониторинг стихийных бедствий конвективного происхождения по данным дистанционного зондирования с метеорологических космических аппаратов: монография / А.В. Звягинцева, А.Н. Неижмак, И.П. Расторгуев. Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2013. 162 с.