

УДК 556.048

ОЦЕНКА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ

© 2016 г. М.В. Болгов

ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук», Москва, Россия

Ключевые слова: нестационарность гидрологических рядов, байесовский метод, неопределенность в гидрологических задачах, прогноз гидрологического режима, уровень воды, антропогенные изменения водосбора, минимальный сток, колебания уровня озера Байкал, наводнения, гидрологические расчеты, инженерная гидрология.



М.В. Болгов

Рассмотрены основные проблемы инженерной гидрологии, связанные с анализом нестационарных последовательностей гидрологических характеристик, статистической недостоверностью оценок, неопределенностью долгосрочных прогнозов, с необходимостью учета антропогенных факторов изменения стока. Проанализированы причины возникновения новых сложных гидрологических задач, классифицированы проблемы гидрологического анализа экстремальных событий, исследованы вопросы принятия решений в условиях неопределенностей различного рода. Проблема надежности долгосрочного прогноза притока при выполнении водохозяйственных расчетов исследована на конкретном примере обоснования диапазона колебаний уровня оз. Байкал. Рассмотрены актуальные задачи оценки гидрологических характеристик в условиях неопределенности будущих климатических изменений.

Для решения поставленных задач рекомендованы байесовские методы получения вероятностной оценки экстремальных расходов воды и уровней на водных объектах в сочетании с возможностями долгосрочного прогноза на основе моделей циркуляции атмосферы.

Неопределенность факторов формирования геофизических процессов является достаточно типичной ситуацией в практической деятельности. Например, сложно дать прогноз подтопления застраиваемой территории, поскольку при проектировании неизвестны на период эксплуатации параметры утечек из водонесущих коммуникаций, носящих характер аварий, да и сама геофильтрационная схема может измениться под воздействи-

Водное хозяйство России № 4, 2016 г.

ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ

ем вновь создаваемых сооружений ввиду неопределенностей перспектив строительного освоения селитебных территорий. Сток реки – природный гидрометеорологический процесс, который весьма изменчив во времени и в пространстве, может значительно трансформироваться (увеличиться или уменьшиться) под влиянием антропогенных изменений состояния водосбора. Важной является проблема неопределенности оценок параметров моделей, описывающих как сами процессы, так и плохо предсказуемое взаимодействие технической конструкции с изучаемой природной средой (грунт, вода, атмосфера). Ситуация сильно усложняется в случаях экстремальной водности (экстремальных нагрузок), поскольку мониторинг функционирования природно-технической системы в таких условиях либо отсутствует (производство работ опасно для жизни наблюдателя), либо данные крайне ограничены ввиду малой вероятности таких событий.

Цель данной работы – показать возможные источники неопределенности будущего состояния водной среды и предложить методы ее учета при обосновании проектных решений.

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ РАЗЛИЧНОГО РОДА

Проблема неопределенности инженерных условий на практике либо преодолевается за счет создания конструкций, позволяющих обеспечить функциональные возможности сооружения в широком диапазоне изменения свойств, либо, при больших экономических затратах, принимается решение об отказе от сооружения объекта и выбирается другой тип функционального использования территории, вплоть до ее принудительного затопления в случае катастрофического развития ситуации для снижения опасного воздействия на объекты, расположенные ниже по течению реки. В промежуточном варианте накапливается опыт эксплуатации создаваемых систем, ведется мониторинг и выполняется непрерывная коррекция решений в случае (или при условии), если такой подход технически возможен и экономически оправдан.

Следует отметить, что отечественная система нормирования нагрузок, сложившаяся в условиях планового ведения хозяйства и реализованная сегодня в мало измененном виде в Техническом регламенте «Безопасность зданий и сооружений» [1], приводит к решениям, обладающим большим уровнем надежности (запасом). В работе А.Г. Бегама и В.Ш. Цыпина [2] на примере мостовых переходов показано, что серьезные разрушения наступают в тех случаях, когда наблюдаемый паводок на 30 % и более превышает расчетный (определенный по заданной для этого класса сооружений обеспеченности максимального стока). Другим примером является задание

емкости форсировки водохранилища (резерв, обеспечивающий безопасность гидротехнического сооружения), осуществляемое в настоящее время для особо ответственных сооружений путем анализа пропуска весьма редкого события (0,01 % с гарантированной поправкой) с начальными условиями, назначаемыми волевым путем, и сопровождаемого разработкой достаточно условного сценария развития экстремальной ситуации.

Зачастую практика решения прикладных задач сталкивается со случаями, когда расчетные значения сложно задать в традиционной форме, например, путем вероятностного описания нагрузки, как это требует теория надежности [1]. Можно отметить широко используемый в зарубежной гидротехнической практике подход, основанный на понятии предельно возможного наводнения, т. е. события, при котором уровень воды выше подняться не может, в частности, например, потому что атмосфера не может удержать большего количества воды над данным водосбором.

Тем не менее, в ряде случаев приходится признать, что доверительный интервал прогноза настолько велик, что рассматриваемая инженерная задача лишается смысла. Иногда это связано с принципиальной невозможностью геофизического прогноза с большой заблаговременностью, как, например, в задаче долгосрочного прогноза уровня Каспийского моря. Однако в интересующем нас случае основная причина – это недостаточная точность глобальных моделей, воспроизводящих будущие климатические изменения. Нужны либо законодательные меры, либо новые экономические механизмы (например, страхование), регулирующие хозяйственную деятельность на подверженных риску негативного воздействия вод территориях.

Неопределенности в гидрологических задачах

Несмотря на обширную историю и накопленный опыт, методическая база гидрологии далека от совершенства. Современные методы гидрологического расчета основываются в основном на приближенной схематизации процессов формирования стока, при получении расчетных значений преобладают стохастические модели и статистические методы. Катастрофические гидрологические события последних лет, начиная с наводнений на реках Лена и Кубань и заканчивая затяжными маловодьями на Волге и Селенге, ставят перед гидрологией ряд фундаментальных проблем, решение которых не всегда очевидно в рамках существующих подходов. Сегодня сложность решения гидрологических задач усугубляется как по причине существенного сокращения сети мониторинговых наблюдений Росгидромета, так и из-за снижения качества гидрологических наблюдений за счет резкого уменьшения числа измеряемых расходов воды, практического прекращения водобалансовых исследований на специализированных станциях, устаревшего оборудования и т. п.

Проблемы гидрологического анализа экстремальных событий можно классифицировать по условиям возникновения неопределенностей различного вида.

Нерегулярный характер катастрофических гидрологических явлений приводит к тому, что *подвергается сомнению обоснованность применения фундаментальных гипотез гидрологии*, например, гипотезы о вероятностном характере колебаний стока. Является ли для описания многолетних колебаний стока приемлемой линейная или нелинейная марковская (или более сложная) модель или пригодна какая-то степень проявления хаоса в изучаемой гидролого-климатической системе? Является ли приемлемой сама модель одномерного распределения вероятностей для описания временных рядов экстремумов стока? Можно ли получить достоверные оценки параметров в условиях ограниченной информации? Сформулированные вопросы по ряду причин не имеют очевидных ответов, в первую очередь – по причине ограниченности данных наблюдений.

Неопределенность оценок стока как следствие недостаточности информации для моделирования и упрощенных представлений о механизмах его формирования. Каково соотношение между генетическими представлениями о механизмах формирования стока и вероятностными моделями пространственной изменчивости рельефа, гидрофизических характеристик почв, растительности и пр., с одной стороны, и представлениями о пространственной и временной изменчивости метеорологических полей (осадки, испарение), с другой? Можно ли решить эту проблему в рамках, так называемых, динамико-стохастических моделей, когда динамическая часть этих моделей основывается на расчетной сетке, пространственные шаги которой иногда существенно превышают размеры самих склонов (и, соответственно, изучаемых неоднородностей), на которых и формируется сток? Какой эффект будет, например, при использовании в моделировании представлений о стокоформирующих комплексах, а не об элементарном склоне?

Неопределенность будущих изменений стока как следствие недостоверности воспроизведения в глобальных моделях представлений о формировании стока по причине упрощенности моделей, в т. ч. и вынужденно в результате ограничения на вычислительные ресурсы компьютеров, а также условности сценариев будущего развития экономических условий, определяющих антропогенное воздействие в виде эмиссии (или поглощения) парниковых газов и т. п.

Перечисленные выше проблемы для своего решения предполагают реализацию предложений из области планирования и проектирования, что сопровождается получением расчетных гидрологических характеристик и разнообразных прогнозных оценок будущего режима. Рассмотрим на нескольких примерах подходы к решению задач гидрологического обоснования некоторых из упомянутых проблем.

Проблема выбора стохастической модели в расчетах стока

Важнейшей задачей, возникающей при оценке максимального стока, является вероятностный анализ его факторов и самих событий. Прикладной аспект проблемы выбора распределения вероятностей гидрологической характеристики состоит в том, что использование различных моделей может приводить к существенно разным оценкам в области больших значений, имеющих малую вероятность превышения, а именно они и представляют интерес с точки зрения надежности сооружений и систем.

Решение этой задачи предполагает выбор подходящего параметрического класса возможных моделей, после чего можно применить эффективные статистические методы оценки параметров распределения. Желательно, чтобы получаемые оценки параметров позволяли делать качественные выводы о характере распределения. Такой подход может быть реализован при использовании, так называемого, обобщенного распределения экстремумов [3]. Вторая сложность связана с необходимостью увеличения точности оцениваемых параметров, ее в ряде случаев можно преодолеть с помощью группирования данных.

В некоторых случаях невозможно подобрать одно распределение, одинаково хорошо описывающее исходные данные во всем диапазоне изменения аргумента. Особенно это заметно при исследовании распределений в зоне экстремальных характеристик стока. В связи с тем, что сток низких и высоких паводков на реках формируется под влиянием различных факторов, целесообразно исключать из рассмотрения паводки с низкими значениями, т. е. использовать «усеченные распределения» с целью исключения данных, которые не содержат информации, уточняющей оценки распределения вероятностей высоких паводков [4, 5]. Один из подходов состоит в использовании смеси распределений: нормального и степенного (распределения Парето) [6].

Проблема оценки вероятностных характеристик стока в нестационарных условиях

В нестационарном случае возникает ряд задач, требующих для своего решения новых методов. Характер нестационарности временных гидрометеорологических рядов может быть различным. Довольно часто выявляемые изменения имеют вид тренда (линейного или нелинейного) и тогда решение задачи сводится к обсуждению возможности пролонгации тренда. Сам тренд удаляется на этапе обработки и далее изучаются свойства отклонений. Исследования показывают, что поведение процесса стока может быть более сложным. Гидрологическая система накапливает изменения и достаточно резко переходит в новое стационарное состояние. Такое развитее процесса отмечено, например, для минимального стока в бассейне Волги. Линейный рост зимних температур в результате глобального по-

тепления обусловил увеличенное питание подземных вод зимой и, соответственно, рост подземной составляющей стока и стока межени в целом. Но характер изменения во времени стока межени оказался «нелинейным». Примерно до начала 1980-х годов происходило накопление запасов подземных вод, которое привело к практически скачкообразному изменению межени стока. За два-три года режим минимальной водности изменился, сформировалось новое стационарное состояние гидрологической системы. Проверка на однородность имеющихся рядов наблюдений подтвердила наличие двух стационарных периодов, возникла проблема гидрологического расчета: какой отрезок ряда принять в качестве аналога на будущее? Поскольку очевидно, что произошедшее нарушение стационарности является следствием глобальных климатических изменений, а механизмы этих изменений изучены недостаточно, нельзя однозначно утверждать, что возврата к прошлому климату не будет. Расчетная схема определения гидрологической характеристики должна учитывать все возможные состояния климатической (гидрологической) системы.

Учесть неопределенность задания параметров при построении прогнозной плотности можно на основе формулы полной вероятности (формулы Байеса). В этом случае наши представления о новых значениях параметров будут выступать в качестве апостериорного распределения, а модельным распределением будет любое приемлемое для изучаемой характеристики распределение (например, двухпараметрическое гамма-распределение с параметром γ , равным среднему значению для обеих выборок):

$$\pi(y) = \int_{\theta} P(y, \gamma, \theta) \cdot g(\theta/x) d\theta \quad (1)$$

Полученная прогнозная плотность распределения $\pi(y)$ вычисляется путем численного интегрирования уравнения (1). Предлагаемый подход дал возможность получить расчетные характеристики минимального стока рек бассейна Волги и Дона, находящегося в нестационарных условиях под существенным влиянием климатических изменений [7, 8].

Проблема долгосрочного прогноза притока при выполнении водохозяйственных расчетов для обоснования диапазона колебаний уровня озера Байкал

Рассмотрим в качестве примера обоснование возможных границ диапазона колебаний уровня воды в оз. Байкал, исходя из компромисса противоречивых интересов водопользования и требований экосистемы в условиях значительной изменчивости гидрометеорологических условий бассейна, в первую очередь, в условиях экстремально низкой водности. Проблема, как известно, заключается в том, что Постановлением Правительства РФ № 231 установлен, в соответствии с Законом об охране оз. Байкал, диапазон

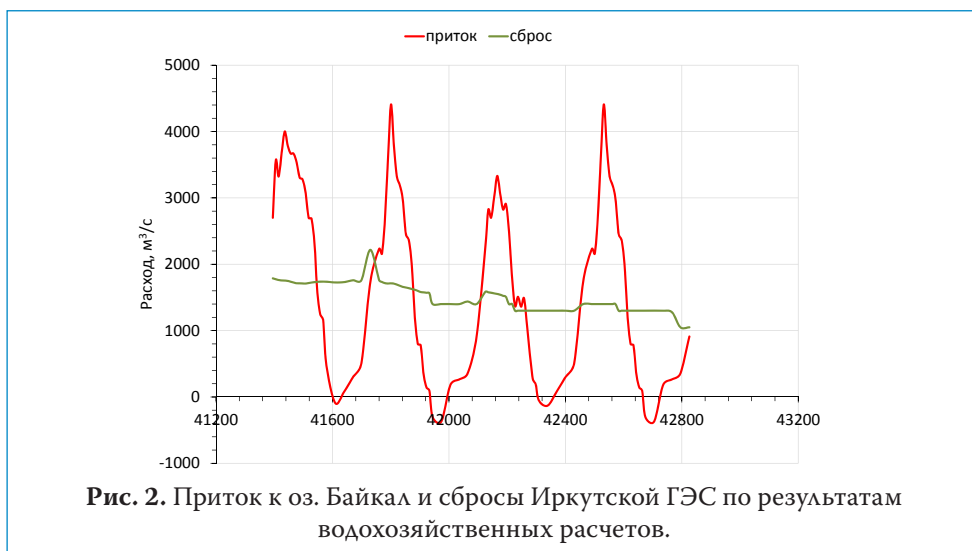
колебаний уровня озера один метр (456–457 м ТО). Уже на стадии принятия этого постановления было ясно, что удержать уровень озера в рамках метрового диапазона не представляется возможным, что и подтвердило маловодье последних лет. Возникла задача обоснования нового диапазона колебаний уровня воды, решение которой может быть получено на основе результатов выполнения комплекса водохозяйственных расчетов по многолетнему гидрологическому ряду и заданному диспетчерскому графику.

Имитационные водохозяйственные расчеты, выполненные с участием ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова» (ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова) и ФГБНУ «Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН), показали, что наиболее «тяжелая» водохозяйственная ситуация возникает в случае группирования маловодных лет. Два подряд маловодных года с обеспеченностью стока более 99 % приводят практически к полной сработке водохранилища до уровня мертвого объема. Оценка вероятности такой группировки показала, что частота ее возникновения составляет примерно один раз в 1000 лет и реже. Соответствующая этому уровню надежности отметка уровня мертвого объема (УМО) составляет 456,54 м ТО.

Таким образом, задача обоснования нижней границы диапазона колебаний уровня воды в оз. Байкал, в соответствии с нормами и принципами технического регулирования решена, и эта величина определится как УМО, гарантируемый с обеспеченностью 99,9 % по числу перебойных лет. Это высокая степень гарантии, но в 2015–2016 гг. наблюдается продолжение маловодной группировки лет. Вероятностный прогноз притока на 2016–2017 гг. указывает на то, что с вероятностью 10 % за этим маловодным годом может последовать также маловодный год с обеспеченностью 95 %. С большей вероятностью будет следовать год 90 % обеспеченности. В марковском приближении прогноз с большей заблаговременностью теряет смысл, поскольку дисперсия прогноза будет равна дисперсии самого прогнозируемого процесса, поэтому далее ограничимся маловодной трехлеткой. Такая маловодная трехлетка будет иметь «теоретическую» вероятность менее чем один раз в 500 лет и может рассматриваться как «запроектная» ситуация.

Для моделирования «запроектной» ситуации рассмотрен сценарий, основанный на пролонгации последовательности крайне маловодных лет еще на год вперед (рис. 1). Примем, что в 2016–2017 водохозяйственном году будет такой же приток, как и в маловодном 2014–2015. Вероятность такого сценария мала, как отмечено выше, но полностью пренебрегать ею нельзя, поскольку в условиях изменяющегося климата возможны непредсказуемые отклонения от имеющихся «теоретических» представлений. Результаты водохозяйственных расчетов с использованием принятых сце-

нариев показывают, что в конце расчетных экстремально маловодных периодов (двухлетки и трехлетки) необходимо будет сработать водохранилище (оз. Байкал) до УМО и ниже (рис. 2).



Проблема оценки гидрологических характеристик в условиях неопределенности будущих климатических изменений

Современное потепление глобального климата имеет как естественно-инерционную, так и антропогенно-обусловленную составляющие. Ввиду ограниченности наших знаний, используемые модельные представления

(метеорологические, океанологические, гидрологические, биологические и пр.) несовершенны, более того, мы не можем предсказать, каковы будут эффекты при дальнейшем их развитии. Представляющий практическую ценность научный прогноз сложных, слабо изученных явлений должен основываться на учете многообразия существующих современных представлений и многовариантности прогнозов глобального развития. Получить такие прогнозные оценки можно, например, на основе байесовского подхода с учетом шансов реализации того или иного сценария. Основная сложность – оценка шансов или вероятностей реализации этих сценариев. Речь идет о попытках распределить шансы между прогнозами, характеризующимися большой неопределенностью.

Такой подход был впервые предложен для решения задачи оценки изменения водности рек бассейна р. Аму-Дарья в условиях значительной неопределенности прогнозов изменений климата и состояния водосбора [9]. Последнее для данного бассейна весьма важно, т. к. заметная часть стока формируется путем таяния ледников, современное же оледенение в регионе характеризуется существенной скоростью его деградации. Идея предложенного метода состоит в моделировании искусственных последовательностей (реализаций) осадков и температуры воздуха для различных климатических сценариев. Подход позволяет учесть возможные климатические изменения и прогнозные оценки оледенения путем корректировки параметров гидрологической модели.

В данном регионе используется несколько сценариев будущих климатических изменений. Два из них приводят к худшим гидрологическим результатам по сравнению с современным климатом, соответственно каждому из них придан вес 1/4. Другие сценарии приводят к значениям водности, значительно отличающимся от тех, что характерны для современного климата, поэтому рассчитанным за репрезентативный период параметрам распределения стока придан вес 1/2. В табл. 1 приведены результаты расчетов стока по формуле прогнозной плотности (1) для р. Аму-Дарья – гидропост (г/п) Керки, где рассчитанные веса использованы в качестве априорных вероятностей.

Таблица 1. Функция распределения годового стока р. Аму-Дарья – г/п Керки

№	Время	Вес, % для сценариев			Вероятность превышения, %				
		Современный климат	Сценарий А1	Сценарий В1	50	75	90	95	97
1	30 лет	50	25	25	1860	1730	1610	1550	1500
2	50 лет	50	25	25	1800	1644	1516	1440	1400

Расчет стока с использованием несколько сценариев будущих климатических изменений является конструктивным подходом и позволяет получать существенно более надежные оценки водных ресурсов на будущее.

Проблема учета антропогенных изменений факторов максимального стока

Значительное антропогенное воздействие на водную среду может выражаться в существенном изменении морфометрических характеристик водных объектов в результате строительства защитных сооружений и других инфраструктурных объектов, проведения дноуглубительных работ, перераспределения стока. В итоге могут существенно нарушаться гидравлический режим потока, формироваться зоны подпора – в целом, изменяться зависимости расходов от уровней.

В июле–сентябре 2013 г. на территории пяти субъектов Российской Федерации произошло катастрофическое наводнение, вызванное обширными дождевыми осадками и охватившее почти полностью бассейн Амура и частично бассейн р. Колымы. На многих водомерных постах был превышен исторический максимум (максимальное значение за весь период наблюдений).

Эмпирическая кривая обеспеченности максимальных уровней воды в г. Хабаровске не может быть положена в основу гидрологических расчетов, поскольку выборка содержит, так называемую, отскакивающую точку – максимальный уровень 2013 г., существенно превышающий второе по величине значение в ранжированном ряду. Явная неоднородность выборки вынуждает использовать другой подход к обработке гидрологических данных для определения расчетных уровней воды р. Амур у г. Хабаровска: ряд наблюденных максимальных расходов и уровней делится на две части – до 1980 г. и после [7]. Такое деление примерно соответствует началу активного строительства Китаем защитных дамб на правом берегу Амура. Другие мероприятия по изменению пропускной способности русла р. Амур на российской территории также реализовывались примерно в эти же годы. Для каждого периода строится своя кривая расходов на основе наибольших в году расходов воды и соответствующих им уровней. В последние 30 лет зависимость расходов от уровня значительно сместилась вверх (до 1 м в диапазоне наибольших наблюденных расходов воды). Таким образом, можно сделать вывод, что на Нижнем Амуре сформировался новый гидроморфологический режим.

С учетом неоднородности гидравлических и гидроморфологических условий старые расчетные значения максимальных уровней воды должны быть пересмотрены в сторону увеличения, а основная гидрологическая задача состоит в выявлении причин развития процесса изменения формы русла и в обосновании новых гидроморфологических условий и расчетных методов.

ВЫВОДЫ

Рассмотренные примеры показывают, что задача оценивания гидрологических характеристик на обозримое будущее во многих случаях характеризуется очень большой неопределенностью факторов и значительным диапазоном получаемых решений. Источники неопределенности могут быть связаны как с явной недостаточностью данных мониторинга об изучаемом природном процессе, так и с плохо преодолеваемыми сегодня сложностями долгосрочного прогнозирования с использованием глобальных моделей циркуляции атмосферы и океана.

Тем не менее, данные мониторинга свидетельствуют, что нарушения стационарности и связанные с ними неопределенности в оценках многолетней изменчивости гидрометеорологических процессов проявляются во все большем количестве случаев, поэтому требуется развитие методов решения прикладных задач. Для нахождения соответствующих решений рекомендуется применение байесовских методов оценивания и прогнозирования в сочетании с детальным детерминистическим моделированием.

Интересен для практики рассмотренный в статье пример с оценками уровней оз. Байкал, где в качестве аргумента рассмотрен сценарий «запроектной» ситуации, основанный на пролонгации последовательности крайне маловодных лет. Связано это с тем, что затяжное маловодье очень сложно прогнозировать, даже если оно уже наступило. «Теоретическая» вероятность рассмотренного сценария крайне мала, но, как отмечено выше, полностью пренебрегать ею нельзя, поскольку в условиях изменяющегося климата возможны непредсказуемые отклонения от имеющихся «теоретических» представлений. Развитие гидрологической обстановки в 2016 г. показывает, что этот сценарий вполне может реализоваться, несмотря на то, что явных нарушений стационарности гидрометеорологического режима не отмечается, как не отмечается и изменений в состоянии водосбора.

В других регионах, например, в горных областях Центральной Азии, имеют место и изменения климата, и состояния водосбора, в частности, сокращается оледенение. В таких условиях для решения задачи оценки изменения водности рекомендуется уже байесовский подход, учитывающий и значительную неопределенность результатов мульти- модельных прогнозов изменений климата, и оценки состояния водосбора.

Сложная задача возникла при анализе изменений минимального стока в бассейне Волги. Линейный рост зимних температур в результате глобального потепления привел к увеличению питания подземных вод и росту подземной составляющей стока. Гидрологическая система долго накапливала изменения и достаточно резко перешла в новое стационарное состояние. Проверка на однородность подтвердила вывод о наличии двух стационарных периодов, но тут же возникла проблема – какой отрезок ряда принять

в качестве аналога на будущее? Поскольку механизмы климатических изменений изучены недостаточно, утверждается, что определение гидрологической характеристики должно основываться на всех возможных состояниях климатической системы.

В тех случаях, когда явная неоднородность выборки объясняется антропогенным воздействием, необходимо применять «технические» подходы. На примере р. Амур показано, что в результате как регулирования стока, так и строительства защитных дамб и реализации других мероприятий по изменению пропускной способности русла, его гидравлика серьезно изменилась, и был сделан вывод, что, например, на Нижнем Амуре сформировался новый гидроморфологический режим. С учетом сложившейся ситуации расчетные значения максимальных уровней воды должны быть пересмотрены в сторону увеличения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений. Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013).
2. Бегам А.Г., Цытин В.Ш. Надежность мостовых переходов через водотоки. Серия «Надежность и качество». М.: Транспорт, 1984. 256 с.
3. Embrechts P., Kluppelberg C., Mikosch T. Modelling extremal events for insurance and finance. Springer, Berlin – Heidelberg, 1997. 648 p.
4. Блохинов Е.Г. Усеченное распределение вероятностей для расчета максимального стока рек // Проблемы регулирования и использования водных ресурсов. М.: Наука, 1973. С. 30–55.
5. СП 33-101-2003 Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных гидрологических характеристик. Утв. постановлением Госстроя России от 26 декабря 2003 г. № 218.
6. Болгов М.В., Писаренко В.Ф. О распределении максимальных расходов воды рек Приморья // Водные ресурсы. 1998. Т. 26. № 6. С. 710–721.
7. Болгов М.В. Задача оценки вероятности редких гидрологических событий в условиях неопределенности прогноза климатических изменений // Экстремальные паводки в бассейне р. Амур: причины, прогнозы, рекомендации: сб. докладов. М.: НИЦ «Планета», 2014. С.148–172.
8. Болгов М.В., Сенцова Н.И. Байесовские оценки расчетных характеристик минимального стока рек в нестационарных условиях // Метеорология и гидрология. 2010. № 11. С. 70–80.
9. Агальцева Н.А., Болгов М.В., Спекторман Т.Ю., Трубецкова М.Д., Чуб В.Е. Оценка гидрологических характеристик в бассейне Амударьи в условиях изменения климата // Метеорология и гидрология. 2011. № 10. С. 58–69.

Сведения об авторе:

Болгов Михаил Васильевич, д-р техн. наук, заведующий лабораторией моделирования поверхностных вод, ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук», Россия, 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3; e-mail: bolgovmv@mail.ru