

# ОПАСНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ: МЕТОДЫ АНАЛИЗА, РАСЧЕТА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ, СМЯГЧЕНИЕ НЕГАТИВНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ

Болгов М.В.<sup>1</sup>, Борщ С.В.<sup>2</sup>, Хазиахметов Р.М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт водных проблем РАН, <sup>2</sup>Гидрометцентр России, <sup>3</sup>ОАО РусГидро, Россия

## **Введение**

В последние десятилетия в мире и в России все более активно обсуждается проблема наводнений и других экстремальных гидрологических событий. Это связано с растущим масштабом потерь и ущербов от наводнений, составляющих существенную долю неблагоприятных последствий природных катаклизмов.

Под наводнением понимается резкое повышение уровня воды в реке, водоеме, водохранилище, море (или его части), приводящие к затоплению значительных участков суши и наносящее материальный ущерб. Под ущербом могут пониматься как разрушение зданий и сооружений и человеческие жертвы, так и изменения (потеря) экосистем (водных и наземных пойменных) и разрушение форм рельефа.

В докладе, представляемом на VII-м гидрологическом съезде, рассматриваются различные аспекты наводнений имевших место за последние годы на территории Российской Федерации, состояние нормативно-методического обеспечения в области прогноза наводнений и оценки риска возникновения экстремальных гидрологических событий, конкретные практические проблемы и задачи, а также перспективные направления дальнейших исследований в этой области.

## **1. Характеристика наблюдавшихся в последние годы опасных, в том числе экстремальных, гидрологических явлений и событий**

### ***1.1. Пропуск паводка 2007г. на Зейском водохранилище***

Паводок 2007 года на р.Зее имел объем стока примерно  $15\text{км}^3$ , что меньше емкости форсировки на  $5\text{км}^3$ . По максимальному пиковому расходу обеспеченность паводка составляет примерно 1%, т.е. такая величина может быть превышена в среднем один раз в сто лет. Паводки такой обеспеченности являются «расчетными» для большинства классов гидротехнических сооружений, и их прохождение является серьезным испытанием для конструкций и персонала. Для водохранилищ крупных ГЭС расчетным является случай 1 раз в 1000 лет, что говорит о запасе надежности при пропуске паводка. Однако для нижнего бьефа ситуация носит иной характер. «Срезка» паводка водохранилищем в течение десятилетий подряд приводит к тому, что кривая обеспеченности максимальных расходов

приобретает сильно асимметричные очертания при существенно меньших средних расходах (по сравнению с естественным режимом). Но, как правило, катастрофические паводки пропускаются через верхние бьефы с меньшей степенью трансформации, и стихийно возведенные в зоне потенциального затопления объекты испытывают в этих редких случаях значительные негативные последствия (ущербы). Хозяйство и население к такому сценарию развития паводочной опасности не адаптировано.

Не самые большие расходы воды р.Зея вызвали в 2007г. значительное повышение уровня и затопления в нижнем бьефе. Основной причиной возникновения катастрофической ситуации на Зейском водохранилище в 2007г. является неконтролируемая застройка затапливаемых территорий в нижнем бьефе. Эта проблема носит сложный характер и до конца не урегулирована в правовом поле. Выход из создавшейся ситуации видится в инвентаризации объектов строительства в зоне периодического затопления и оценки потенциальных ущербов от затопления для последующего страхования.

### ***1.2. Авария на Саяно-Шушенской ГЭС***

17 августа 2009г. на Саяно-Шушенской ГЭС произошла техногенная катастрофа, в результате которой погибло 75 человек, сооружениям и помещениям станции нанесён значительный ущерб, а производство электроэнергии было полностью остановлено. По сведениям Ростехнадзора непосредственной причиной аварии явилось разрушение шпилек крепления крышки турбины гидроагрегата, вызванное дополнительными динамическими нагрузками, что привело к срыву крышки и затоплению машинного зала станции.

Технические аспекты аварии (оборудование, работа конструкций) не являются предметом нашего доклада, но уникальность и сложность объекта гидроэнергетического строительства обуславливает важность полного и корректного учета факторов гидрометеорологической безопасности сооружения высшего класса ответственности. Таковых факторов несколько.

Во-первых и до аварии обсуждалась проблема безопасного пропуска расчетного паводка через фронт сооружения и было принято решение о строительстве дополнительного берегового водосброса, который, забегая вперед, в экстренном порядке был достроен, что существенно снизило риски развития ситуации по опасному сценарию при прохождении паводков, близких к расчетным событиям по своей вероятности, поскольку нормальная работа водобойного колодца обеспечивалась при существенно меньших расходах.

Во-вторых необходимо отметить, что возможность работы водосброса станции в зимний период в условиях низких температур никаким образом не была регламентирована ни на стадии проектирования ни на стадии разработки правил управления. Обледенение конструкций и водосброса станции приняло масштабный характер, но к серьезным

деформациям, которые могли повлиять на работоспособность всего комплекса сооружений, не оказало. Усилиями аварийных бригад ледовая нагрузка была минимизирована, но надо признать, что каких либо определенных гидрофизических прогнозов и оценок не выпускалось, что создавало ситуацию с большой неопределенностью последствий.

Далее необходимо отметить, что прекращение в зимний период сбросов воды через турбинные водоводы привело к охлаждению тела арочно-гравитационной плотины и, в силу уникальности конструкции, соответственно, к необходимости пересмотра правил управления режимами заполнения и сработки водохранилища СШ ГЭС. Для гидрологов это означало необходимость повышения достоверности (оправдываемости) прогнозов притока, что в условиях крайне недостаточной сети мониторинга явилось сложнейшей задачей.

В целом надо сделать вывод, что усилиями множества специалистов развития ситуации по катастрофическому сценарию удалось избежать. В настоящий момент оборудование СШ ГЭС восстановлено полностью, система плотина-основание функционирует в проектном режиме. Тем не менее, задача прогноза притока со значительно большей заблаговременностью и оправдываемостью, чем это имеет место сейчас, остается для гидроэнергетических объектов Ангаро-Енисейского каскада актуальной.

### ***1.3. Катастрофический паводок 6-7 июля 2012 года на р.Адагум Крымского района Краснодарского края***

Гидрологическая ситуация имевшая место в бассейне р.Адагум 6-7.07.2012г. характеризуется с помощью термина «быстро развивающийся паводок». Возникновение таких паводков связано с формированием метеорологической (синоптической) обстановки, благоприятствующей локальному выпадению осадков очень большой интенсивности. Основным фактором наводнения в г.Крымске 6–7 июля 2012г. стали экстремальные дождевые осадки, не отмечавшиеся до этого за всю историю инструментальных наблюдений. По данным Росгидромета суммы суточных осадков по метеостанции (м/с) Крымск ранее не превышали 80мм, а в ночь с 6 на 7 июля сумма осадков достигла 156мм. Ранее наблюдавшаяся максимальная суточная сумма осадков по м/с Новороссийск составила 180мм в 1988г., а за сутки с 7 часов 6 июля по 7 часов 7 июля был зафиксирован максимум осадков 275мм. Были превышены ранее наблюдаемые максимумы суточных осадков (105мм) по м/с Геленджик, где за 24 часа выпало 311мм. Вся территория бассейна Адагум была охвачена зоной интенсивного выпадения осадков. Полученные на м/с Новороссийск и Крымск гиетографы указывают на то, что основной объем осадков, сформировавших катастрофический паводок, выпал с 22 часов 6 июля по 3 часа ночи 7 июля. В этот период интенсивность осадков достигала 35–45мм в час.

Использование плювиограмм наблюдавшихся ливней позволило оценить расход паводка 06-07.07.2012г. в  $1350\text{м}^3/\text{с}$  на входе в г.Крымск. Сравнение данных величин максимальных расходов воды определенные по меткам высоких вод с рассчитанными по модели формирования стока, позволяет сделать вывод об удовлетворительном качестве моделирования стока, в особенности его максимальных значений. Таким образом, можно утверждать, что основной механизм формирования паводочного стока и соответствующего наводнения в г.Крымске – это выдающиеся дождевые осадки, сформировавшие экстремальный сток.

Дождевой паводок в Крымске относится к категории так называемых «быстроразвивающихся» паводков. Методы расчета и прогноза такого рода паводков, используемые в практике проектирования и эксплуатации систем инженерной защиты и других инфраструктурных объектов, требуют совершенствования, как в части систем мониторинга, так и в части совершенствования моделей формирования паводочного стока. В качестве основного варианта защиты г.Крымска от затопления рекомендуется увеличение пропускной способности русла р.Адагум за счет его канализования для безопасного пропуска расхода обеспеченностью 1% в сочетании с отчуждением узкой прибрежной части и выносом жилых и промышленных объектов из этой зоны.

#### ***1.4. Наводнение на Амуре***

В июле- сентябре 2013г. на территории пяти субъектов Российской Федерации имело место катастрофическое наводнение, вызванное обширными дождевыми осадками. Наводнение (дождевое половодье) охватило почти полностью бассейн Амура, и частично бассейн р.Колымы. Наводнение вызвано большим количеством дождевых осадков, выпадавших начиная с третьей декады июля и практически весь август. На многих водомерных постах был превышен исторический максимум (максимальное значение за весь период наблюдений). Сельское хозяйство, экономика, объекты инфраструктуры понесли значительные ущербы, исчисляемые десятками миллиардов рублей.

До получения достоверной информации о имевших место попусках, расходах и уровнях воды, сложно дать полную оценку происходящему явлению. Сегодня можно сказать, что катастрофический паводок носил сложный характер. На первую волну наводнения, сформировавшуюся на Среднем Амуре, наложилась волна паводочного стока, сформировавшаяся в бассейнах рек Сунгари (КНР) и Уссури, что и привело к серьезному осложнению паводочной ситуации на р.Амур в районе г.Хабаровска и ниже по течению.

Детальный анализ развития паводка на Амуре в 2013 году будет представлен в специальном докладе, здесь же только отметим следующее. Эмпирическая кривая распределения уровней

воды у г.Хабаровска содержит «отскакивающую» точку и неоднородна. Для выяснения причины неоднородности ряд наблюдаемых максимальных расходов и уровней делим на две части – до 1980 года и после. Такое деление примерно соответствует началу активного строительства Китаем защитных дамб на правом берегу Амура. Другие мероприятия по изменению пропускной способности русла Амура на российской части также реализовывались примерно в эти 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 1м в диапазоне наибольших наблюдаемых расходов воды). Таким образом, можно говорить о том, что на Среднем и Нижнем Амуре сформировался новый гидроморфологический режим, а для определения новых расчетных значений расходов и уровней необходимо выполнить специальные исследования и изыскания, обосновывающие новый гидравлический режим потока.

## **2. Современное состояние методов оценки расчетных характеристик максимального и минимального стока, в т. ч. в нестационарных условиях. Состояние нормативной базы инженерной гидрологии**

Для повышения точности и надежности характеристик стока при выполнении гидрологических расчетов и принятии проектных решений представляется целесообразным использовать комплексный подход. Во-первых, следует использовать те типы распределений, которые разработаны для применения именно в зоне экстремальных значений. Во-вторых, необходимо использовать такие методы оценки параметров, которые позволяют получать параметры наиболее простым и точным способом. В-третьих, возможно использование усеченных рядов данных, учитывающее генезис исключительно высоких паводков и половодий. И, в-четвертых, с целью увеличения объема независимой информации целесообразно применять совместный анализ данных. Рассмотрим некоторые из перечисленных задач.

### ***2.1. Применение теории экстремальных событий в задачах аппроксимации распределений вероятностей максимальных расходов воды***

Один из важнейших прикладных аспектов проблемы выбора распределения вероятностей 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 наибольший интерес с точки зрения надежности сооружений.

Для эффективного решения этой задачи необходимо преодолеть две трудности. Первая заключается в выборе подходящего параметрического класса возможных моделей. После этого шага можно будет применить эффективные статистические методы оценки параметров распределения. Для решения сформулированных задач используются два распределения, появившиеся сравнительно недавно в результате обобщения теории экстремальных статистик: обобщенное распределение Парето и обобщенное распределение экстремумов.

### ***2.2. Усечения распределений, «хвосты» распределений***

В связи с тем, что низкий и высокий сток на реках формируется под влиянием различных факторов, при определении расчетных значений целесообразно исключать из рассмотрения паводки с низкими значениями, т. е. использовать так называемые «усеченные распределения» с целью исключения данных, которые не содержат информации, уточняющей оценки распределения вероятностей высоких паводков.

Неравноценность исходных данных отражает неоднородность факторов, определяющих формирование высокого и низкого максимального стока. В частности, для дождевых паводков, различие объясняется тем, что ливни, вызывающие высокий и низкий сток, имеют, как правило, различное происхождение и соответственно подчиняются различным законам распределения вероятностей. Различны также и условия формирования потерь воды на водосборе (прежде всего потерь на впитывание) при кратковременных и интенсивных ливнях, приводящих к формированию катастрофических паводков, и при длительных дождях, слабой интенсивности, когда максимумы чаще всего сравнительно невысоки.

Математическая (статистическая) сущность усечения кривой распределения состоит в том, что из анализа исключается определенный интервал колебания признака и по данным наблюдений в оставшемся интервале строится часть полного распределения. При использовании усеченных распределений применительно к расчету максимального стока весьма сложно установить границы между высокими и низкими паводками – в каждом конкретном случае эта граница может быть различной. В ряде работ в качестве такой границы рекомендуется медианное значение.

### ***2.3. Метод совместного анализа гидрологических характеристик***

Совместный анализ по группе станций необходим в тех случаях, когда количество информации недостаточно для того, чтобы уверенно судить о характеристиках стока. Для оценки вероятностных характеристик стока и климата всегда желательно увеличение объема данных. При расчете экстремумов редкой повторяемости это становится еще более актуальной проблемой. Так как увеличить объем наблюдений на данном объекте

невозможно, то единственный выход заменить увеличение длительности наблюдений по отдельным объектам совместным анализом данных по множеству более или менее однородных объектов.

### ***2.5. Нестационарные последовательности.***

Методы решения гидрологических и водохозяйственных задач регламентируются рядом нормативных документов. Однако в современных условиях необходимо рассмотрение подходов, которые, развивая идеологию существующих нормативов, позволяют получать более надежные оценки водных ресурсов. В частности, применительно к нестационарным условиям, решить некоторые задачи можно путем использования новых подходов к аппроксимации законов распределения гидрологических характеристик.

При инженерно-гидрологическом обосновании водохозяйственных проектов необходимо учитывать вероятность появления всех событий, лимитирующих функционирование создаваемых технических систем. Для этого необходимо при оценке расчетных характеристик учесть нестационарный характер временных рядов. Гипотеза, которая при этом формулируется и используется, заключается в том, что вместо одной продолжительной выборки рассматриваются два квази-стационарных участка, отвечающих различным состояниям гидролого-климатической системы (и каждый из которых может повториться в будущем). Для каждого участка подбирается закон распределения (кривая обеспеченности) и расчетная кривая обеспеченности строится как сумма двух законов распределения с весами, пропорциональными длинам выборок.

## **3. Системы оперативного мониторинга и прогнозирования гидрологической ситуации на водных объектах Российской Федерации: анализ современного состояния, возможностей системы по выявлению опасного развития гидрологических процессов, а также пути ее дальнейшего развития и совершенствования**

Важнейшей задачей, стоящей в настоящее время перед Росгидрометом, является обеспечение гидрометеорологической безопасности населения и отраслей экономики страны, в том числе и в части опасных гидрологических явлений. Основные задачи и направления деятельности в этой области отражены в Концепции гидрометеорологической безопасности, утвержденной Решением Совета глав правительств СНГ 16 апреля 2004 года. Целая серия опасных наводнений и маловодий, наблюдавшихся в последнее десятилетие в бассейнах Кубани, рек Черноморского побережья, Волги, Сухоны, Тобола, Оби, Лены, Амура, повлекшие за собой человеческие жертвы, нарушившие нормальную

жизнедеятельность не только отдельных населенных пунктов, но, в ряде случаев, целых регионов страны, убедительно показали актуальность решения этой проблемы.

Особую опасность продемонстрировали быстро развивающиеся гидрологические процессы, такие, как паводки на горных реках, сели, лавины, время формирования которых колеблется от десятков минут до 3-6 часов. Государственная наблюдательная сеть, основанная на ручной технологии производства наблюдений и передачи их в центры сбора, не могла обеспечить надежное и своевременное обнаружение и прогнозирование таких явлений. Для решения этой проблемы потребовалось создание принципиально новой наблюдательной сети, основанной на использовании автоматизированных гидрологических и метеорологических станций, автоматизированных осадкомерных пунктов и снегоизмерительных платформ, развертывания сети метеорологических радаров, развития методов и технологий дистанционного зондирования с применением ИСЗ, а также разработки автоматизированных систем гидрологического прогнозирования, усваивающих данные наблюдений модернизированной сети и работающих в едином комплексе с метеорологическими моделями.

За прошедшие после VI Всероссийского гидрологического съезда годы была проведена модернизация наблюдательной сети в бассейнах Кубани, Уссури и частично Оки. Это позволило подойти к решению сложнейшей задачи, поставленной перед Росгидрометом Правительством страны – к созданию эффективной и надежной системы мониторинга и прогнозирования опасных гидрометеорологических, в том числе и гидрологических, явлений, в чрезвычайно паводкоопасных регионах Российской Федерации. Модернизация наблюдательной сети, переход на новые технологии производства наблюдений и передачи данных в центры сбора потребовала автоматизации процесса обработки данных, подготовки и выпуска прогнозов. С этой целью оперативно-прогностические подразделения Росгидромета были практически полностью оснащены автоматизированными рабочими местами, так называемыми АРМ-гидролог. Это позволило не только полностью автоматизировать процесс получения, обработки и архивации оперативной гидрометеорологической информации, необходимой специалистам для выполнения работ по мониторингу и прогнозированию гидрологической обстановки, но представлять оперативную информацию в практически любом удобном и необходимом для специалистов и потребителей виде – карт, включая комплексные, графиков, комплексных гидрографов, диаграмм, таблиц. Кроме того, для оценки сложившейся гидрологической обстановки и диагноза ее развития в течение ближайших суток, в АРМ разработана специальная компонента, позволяющая выполнять в автоматическом режиме этот вид работ и представлять полученные результаты в картографическом и табличном виде. Формирование



выходной продукции производится в автоматическом режиме по установленному пользователями расписанию. В основу данной системы положены современные методы обработки информации, в том числе возможности ГИС-технологий.

В последние годы для мониторинга и прогнозирования гидрологической обстановки начали более широко использоваться возможности дистанционного зондирования подстилающей поверхности с помощью ИСЗ. Так, разработанные в ФГБУ «НИЦ Планета» и его Дальневосточном центре была разработана и использована в период наводнения в бассейне р.Амур в июле-сентябре 2013 года технология оценки паводковой обстановки с использованием данных ИСЗ, в том числе высокого разрешения. Это позволило специалистам выполнять оперативную оценку масштабов затоплений, мониторинг перемещения волны паводка и динамику зон затоплений. Группой исследователей под руководством Д.А.Буракова была разработана и внедрена в оперативную деятельность ФГБУ «Среднесибирское УГМС» автоматизированная технология оценки динамики снегового покрытия в бассейне Верхнего Енисея с использованием данных ИСЗ TERRA/MODIS, что позволило существенно повысить точность расчета запасов воды в снежном покрове, в том числе в период снеготаяния. На основе этой технологии авторы разработали и внедрили в оперативную практику метод автоматизированного прогноза ежедневного притока воды в водохранилище Саяно-Шушенской ГЭС, что позволило успешно справиться с обслуживанием этого гидротехнического сооружения в самый критический период после аварии на ГЭС.

Интенсивные исследования, доведенные до внедрения в ФГБУ «Дальневосточное УГМС», выполнены Б.И.Гарцманом и его коллегами. Разработанные ими методы краткосрочного прогнозирования ежедневного притока воды в водохранилище Бурейской ГЭС послужили основой для принятия ответственных решений по установлению объемов сбросных расходов в период наводнения на р. Амур в 2013 году.

С целью повышения качества и надежности гидрологического обеспечения в Южном Федеральном округе, в течение последних двух лет ФГБУ «Тайфун» совместно с ФГБУ «Гидрометцентр России» была разработана и внедрению в оперативную практику система раннего предупреждения об опасных паводках в бассейнах Кубани и рек Черноморского побережья Краснодарского края, в том числе р.Мзымта. Система основана на современных технологиях производства наблюдений, обработки и автоматизированной передачи информации, включая оперативную продукцию. Прогностический блок включает в себя набор концептуальных моделей формирования стока, также методик, основанных на физико-статистических и статистических подходах. Этот блок объединен с выходной продукцией четырех метеорологических моделей (модели COSMO-RU, REGION, NCEP и UKMO) через

специализированную базу гидрометеорологических данных RIVER. Система работает в автоматизированной режиме по установленному пользователями расписанию, выпуская 4 раза в сутки оперативные прогнозы, которые также автоматически через Интернет отправляются в реальном масштабе времени всем пользователям, прежде всего – в ФГБУ «Северокавказское УГМС» и ФГБУ «Краснодарский ЦГМС». Прогностическая продукция системы – прогнозы среднесуточных расходов воды по 25 гидрологическим створам в бассейне р.Кубань, максимальных за сутки расходов воды по 8 постам на реках черноморского побережья, прогнозы вероятности превышения отметок затопления поймы, неблагоприятных и опасных отметок. Форма выпуска прогнозов – таблицы, карты, графики, а заблаговременность прогнозов – 1–3 суток.

Интенсивные исследования в области развития и совершенствования ледовых прогнозов проводились в ФГБУ «ГГИ» В.А.Бузиным. Разработанные им за прошедший после VI Всероссийского гидрологического съезда период методы прогноза количественных характеристик заторов льда: толщины заторных скоплений и объема льда в них, устойчивости заторов на затороопасных участках рек севера Европейской части страны и Сибири на основе теоретической модели затора представляют большой практический интерес и находят применение в оперативной прогностической деятельности.

Представленные выше системы, технологии и методы, разработанные за последние годы, иллюстрируют современное направление развития систем оперативного гидрологического мониторинга и прогнозирования, общей чертой которых является стремление к максимальной автоматизации процессов обработки оперативной информации и подготовки информационной продукции. Такой подход позволяет решить отчасти проблему с квалифицированными специалистами-гидрологами в оперативно-прогностических учреждениях Росгидромета, а также повысить оперативность и качество гидрологического обслуживания потребителей. В настоящее время в системе гидрологического прогнозирования Росгидромета функционируют 16 отделов гидрологических прогнозов и 40 групп гидрологических прогнозов. По данным на 2012 год всего в прогностических гидрологических подразделениях Росгидромета работали 172 специалиста. В среднем на один прогностический центр приходилось три сотрудника. В тоже время в большинстве групп гидрологических прогнозов число сотрудников занимающихся непосредственно выпуском прогнозов составляет 1–2 сотрудника, что явно недостаточно и не соответствует объёму выполняемой работы. В тринадцати прогностических группах работают всего по одному специалисту. В настоящее время, несмотря на явно недостаточное количество сотрудников, прогностические подразделения Росгидромета выполняют большой объём работ как по составлению плановых прогнозов, так и по специализированному

обслуживанию потребителей. В среднем за год оперативно-прогностические учреждения Росгидромета выпускают около 38000 гидрологических прогнозов, из которых 88% - краткосрочные прогнозы. Из общего числа выпускаемых прогнозов 95% - прогнозы характеристик водного режима и 5% - ледовые прогнозы. В среднем на одного специалиста, занятых в оперативном гидрологическом прогнозировании, приходится 220 гидрологических прогнозов в год. Как известно, любой гидрологический прогноз в значительной степени является инженерным расчетом и требует не только высокой квалификации специалистов, но и грамотного осмысления полученных результатов. В то же время, огромная нагрузка на специалистов, работающих в области оперативного прогнозирования, не оставляет достаточно времени на детальный критический анализ подготовленных прогнозов, особенно если учитывать дополнительный значительный объем работы, связанной с подготовкой различных справочных, информационных, обзорных, отчетных и других материалов. Возможным решением, которое может смягчить данную проблему, является автоматизация процесса подготовки и выпуска прогнозов.

В настоящее время от исследователей требуется не только разработать прогностический метод, но и создать, по сути, автоматизированную технологию, включающую сбор необходимой информации, подготовку прогностической продукции и доведение ее до пользователей. При этом разработанная технология или система должна надежно работать в информационно-вычислительной среде Росгидромета. Понятно, что помимо разработки прогностической модели или метода, сложнейшей задачей является автоматизация процесса подготовки гидрометеорологической информации, поступающей из различных источников, в различных кодовых формах, с разной временной дискретностью и хранящейся в разных оперативных базах данных. Для решения этих проблем за последние три года в ФГБУ «Гидрометцентр России» была выполнена работа по созданию специализированной оперативной гидрологической базы данных, получившей наименование RIVER и функционирующей в вычислительной среде ФГБУ «ГВЦ Росгидромета». База организована по бассейновому принципу. В нее в режиме реального времени поступают данные оперативных гидрологических, метеорологических, агрометеорологических наблюдений, производимых в бассейне конкретного водного объекта, а также выходная продукция метеорологических моделей – CJSMO-RU, WRF-ARW, NCEP, REGION и UKMO. Таким образом, при подключении к базам данных нового метода или модели разработчики имеют точный адрес хранения всей доступной информации. В настоящее время на основе такого подхода разработаны системы оперативного прогнозирования для рек Северного Кавказа, Оки, а также автоматизированная система краткосрочных прогнозов осенних ледовых явлений на реках северо-востока Сибири.

Как известно, основой любой системы предупреждения об опасных гидрометеорологических явлениях является система мониторинга параметров гидрологического режима. Применительно к гидрологическим явлениям система мониторинга в нашей стране включает, прежде всего, государственную и ведомственную сети наземных гидрологических станций и постов, а также систему спутникового мониторинга. Эти две компоненты являются основными источниками информации о гидрологическом режиме и состоянии водных объектов.

По состоянию на 2013 год в системе Росгидромета функционирует около 3100 гидрологических постов. Информативные посты, непосредственно привлеченные к оперативному мониторингу, составляют около 70% от общего количества гидрологических постов. Средняя плотность наблюдательной наземной гидрологической сети составляет 1 пост на  $9440\text{км}^2$ , что почти в два раза меньше, чем рекомендует Всемирная метеорологическая организация (ВМО). Наибольшая плотность наблюдательной гидрологической сети в Верхневолжском УГМС, УГМС республики Татарстан, Башкирском УГМС и Приморском УГМС, где один пост приходится на  $2500\text{-}2600\text{км}^2$ , но даже в этих УГМС плотность сети не соответствует рекомендациям ВМО. При этом основным видом наблюдений, оперативно поступающим в прогностические центры, являются наблюдения за уровнями воды. В то же время оперативные данные о ежедневных расходах воды, без которых невозможно использование подавляющего большинства современных методов прогнозирования, поступают лишь с 12-15% гидрологических постов, из которых более 30% - посты Северокавказского УГМС.

За годы перестройки и в начале 90-х годов прошлого века гидрологическая сеть Росгидромета претерпела существенные изменения. К примеру в бассейне Волги количество гидрологических станций и постов сократилось на 33%, снегомерных маршрутов – на 35%. Снизилась точность гидрологических наблюдений, прежде всего за стоком, из-за устаревших приборов и оборудования, несоблюдения требуемой частоты измерения расходов воды и др. В результате сокращения наблюдательной гидрологической сети в бассейне Волги, средняя квадратическая погрешность оперативных долгосрочных прогнозов такой важной характеристики гидрологического режима как суммарный приток воды в водохранилища Волжско-Камского каскада ГЭС за второй квартал увеличилась с  $18,6\text{км}^3$  до  $21,4\text{км}^3$ , т.е. на  $2,8\text{км}^3$  (или на 15%), что сопоставимо со средним многолетним объёмом стока за половодье такой реки, как Клязьма в районе г.Павловский Посад. При этом средняя оправдываемость этого вида прогнозов за 1961-1985гг. и за 1986-2013гг. была близка и составила соответственно 89 и 86% (снижение лишь на 3%). Таким образом, сокращение наблюдательной сети приводит в первую очередь к увеличению ошибки прогнозов, при этом

средняя успешность прогнозов может оставаться на одном уровне или несколько ухудшаться. Это приводит к тому, что потребители прогностической продукции высказывают неудовлетворения качеством прогнозов из-за возрастающих величин погрешностей.

Анализ распределения средних ошибок (в долях от допустимой погрешности) долгосрочных прогнозов притока воды за второй квартал по водохранилищам Волжско-Камского каскада с 1985 по 2013гг. показал, что наибольшие погрешности прогнозов имели место по Верхневолжским водохранилищам – Шекснинскому, Рыбинскому, Иваньковскому, Угличскому, а также по Камскому водохранилищу. Здесь погрешности прогнозов превышают среднюю погрешность по всем водохранилищам каскада на 15–70%.

Анализ оправдываемости всех видов выпускаемых долгосрочных прогнозов за период с 1961 по 1985 и с 1986 по 2012 годы свидетельствует о снижении средней оправдываемости прогнозов после 1985 года по всем видам прогнозов. При этом снижение оправдываемости составило: по долгосрочным прогнозам притока воды в водохранилища (35 водохранилищ на реках России) за месяц – основной прогноз в среднем на 5%, уточнения прогнозов - на 4,8%; по долгосрочным прогнозам притока воды в водохранилища (35 водохранилищ на реках России) за квартал - основной прогноз в среднем на 10,8%, уточнения прогнозов - на 10,3%; по долгосрочным прогнозам максимальных уровней весеннего половодья – на 5,0%; по долгосрочным прогнозам минимальных за месяц уровней воды – на 5,0%.

В последние годы вопросы развития и модернизации наблюдательной гидрологической сети находятся под пристальным вниманием. Этой проблеме уделено значительное место в реализуемой в настоящее время Федеральной целевой программе «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах», в мероприятиях Росгидромета, связанных с проектом модернизации наблюдательной сети в бассейне р.Волга, с развитием систем гидрологического мониторинга в бассейне Амура, а также в бассейнах крупных водохранилищ на реках Сибири и Дальнего Востока.

В условиях сокращения наблюдательной сети, увеличения воздействия техногенных факторов на водные объекты оперативные гидрологические прогнозы требуют постоянного обновления и совершенствования методов оперативного прогнозирования. Причина этого кроется в том, что в настоящее время для целей долгосрочного гидрологического прогнозирования применяются в основном различные физико-статистические методы. Поэтому созрела настоятельная необходимость переработки прогностических методик. Весьма перспективным представляется широкое внедрение в оперативную практику методов гидрологических прогнозов, основанных на использовании моделей формирования стока. Исследования, выполненные специалистами Института водных проблем РАН

Л.С.Кучментом, А.Н.Гельфаном и др. показали перспективность использования физико-математической модели формирования речного стока для вероятностного долгосрочного прогнозирования характеристик стока весеннего половодья и притока воды в водохранилища за второй квартал.

Современная тенденция развития оперативной гидрологии в мире ориентируется на разработку и внедрение автоматизированных систем прогнозирования и предупреждения об опасных гидрологических явлениях на водоемах суши. Принципиальной особенностью этих систем является автоматизация процессов сбора, доставки, первичной обработки информации, составления, обсуждения и доведения гидрологических прогнозов до потребителей.

Для реализации поставленных задач необходимы квалифицированные гидрологи-прогнозисты, способные обеспечивать как разработку методов гидрологических прогнозов, так и составление прогнозов. Однако, уже в настоящее время число научных сотрудников, занимающихся исследованиями в области гидрологических прогнозов, катастрофически сократилось. По целому ряду важнейших направлений исследований в области разработки методов гидрологических прогнозов остались 1–2 специалиста. Не лучше обстоит дело и со специалистами, занимающимися непосредственно выпуском оперативных прогнозов. Поэтому важнейшей задачей является сейчас привлечение к работе в этой области молодежи, без которой невозможно дальнейшее развитие оперативного гидрологического прогнозирования.

#### **4. Использование возможностей системы гидрологического мониторинга и прогнозирования для обеспечения безопасности населения объектов экономики от ОГЯ**

Важнейшим элементом системы обеспечения защиты от последствий неблагоприятных гидрометеорологических явлений является надлежащая эксплуатация сооружений и оборудования гидроузлов. Сооружений ГЭС регулирующих сток крупнейших рек России относятся к первому классу, что определяет как их повышенный запас надежности, так и необходимую пропускную способность, обеспеченную для водности 0,01% обеспеченности. Однако только ответственная эксплуатация оборудования и сооружений ГЭС позволяет обеспечить их безусловную готовность выполнить их функции по регулированию стока, предусмотренными проектом.

Наличие гидрометеорологической информации, является одним из требований к безопасной эксплуатации ГЭС. При этом в условиях разработки качественных диспетчерских графиков работы водохранилищ и организации оперативного управления режимом работы водохранилищ, достоверность среднесрочных гидрометеорологических прогнозов не

представляется критичным для предотвращения последствий неблагоприятных гидрометеорологических явлений. Однако при быстроизменяющихся водохозяйственных условиях диспетчерские графики требуют регулярного обновления, что зачастую не возможно. В такой ситуации недостаточная достоверность прогностической информации становится серьезной проблемой при регулировании стока. Существующая нормативная оправдываемость среднесрочных прогнозов достигающая 50% не позволяет решать задачи определения необходимого уровня предпаводковой и предполоводной сработки водохранилищ. При этом при реализации режима возникают риски как избытка, так и дефицита водных ресурсов. Совершенствование среднесрочных методов гидрометеорологического прогнозирования в этих условиях становится принципиально важной задачей. В условиях развития неблагоприятных гидрометеорологических явлений решение задачи регулирования во многом зависит от складывающейся чрезвычайной ситуации. В зависимости от различных сценариев ее развития, может требоваться принятие решение, не предусмотренное правилами. Качество и заблаговременность краткосрочного прогноза при этом будет определять возможность оперативной корректировки режима в соответствии с изменяющимися природными условиями, что при развитии чрезвычайной ситуации становится критичным. В настоящее время предпринимаются значительные усилия по развитию государственной сети гидрометеонаблюдений с применением современные средств связи, обработки информации, измерительных комплексов (например, осадкомерных радаров), что должно позволить перейти на качественно иной уровень краткосрочного прогнозирования величины притока к створам гидроузлов. ОАО РусГидро принимает активное участие в совместных с Росгидрометом проектах по развитию систем прогнозирования на площадях водосбора водохранилищ, образуемых эксплуатируемыми ею ГЭС. Ряд проектов реализуется на Саяно-Шушенском, Бурейском и Зейском водохранилищах. Все средства гидрометеонаблюдений, создаваемые в результате проектов, войдут в государственную наблюдательную сеть.

Низкая освоенность экономически эффективного гидропотенциала России позволяет рассматривать возможность сооружения дополнительных ГЭС, решающих в числе прочих функции паводковой защиты. По итогам оценки последствий прошедшего нынешним летом на Дальнем Востоке аномального паводка, Указом Президента РФ поручено проработать вопросы сооружения ГЭС, как элемента паводковой защиты региона. Неосвоенный гидропотенциал бассейна реки Амур (за исключением притоков на территории КНР) составляет более 42 млрд. кВтч. На основе ранее выполненных работ по разработке схем использования гидропотенциала можно предварительно выделить следующие объекты, позволяющие получить максимальный противопаводковый эффект: гидроузел на реке

Шилка, Русиновская и Селемджинская ГЭС на реке Селемджа (крупнейшем притоке реки Зея), ГЭС на реке Гилюй (впадает в Зейское водохранилище), Нижне-Зейская ГЭС (контррегулятор Зейской ГЭС), гидроузлы на реках Большая Уссурка и Ниман (приток р.Буря). Окончательные параметры и перечень гидроузлов могут быть сформированы только после уточнения схемы использования бассейна реки Амур, которое должно выполняться с акцентом на противопаводковые функции рассматриваемых гидроузлов.