

Е. А. Семёнова [E. A. Semyonova]  
 А. В. Алиферов [A. V. Aliferov]

УДК 556.18:504.06:  
 56.51

**ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА В ОБЕСПЕЧЕНИИ  
 ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ «ОБЪЕКТОВ  
 ДЕЯТЕЛЬНОСТИ» В СОСТАВЕ ПТС «ПРИРОДНАЯ СРЕДА –  
 ОБЪЕКТ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ – НАСЕЛЕНИЕ»**

**THE FUNDAMENTALS OF SYSTEMS APPROACH IN ENSURING  
 THE HYDROLOGICAL SAFETY «ACTIVITIES» IN THE NTS  
 «ENVIRONMENT – OBJECT OF ACTIVITY – POPULATION»**

*Целью является обеспечение гидрологической безопасности гидротехнических сооружений на водохранилищных, водозаборных и других типов гидроузлов, связанных с использованием водных ресурсов и защитой территорий от явления затопления и подтопления в рассматриваемых пространственных пределах бассейновых геосистем в диапазоне формирования речных стоков: поверхностных и подземных.*

*Goal is to ensure the hydrological safety of hydraulic structures for storage, diversion, and other types of hydraulic systems associated with water resources use and protection of territories from flooding and underflooding in the considered spatial limits of basin geosystems in the range of formation of river runoff: surface and underground.*

**Ключевые слова:** природно-техническая система, гидрологическая безопасность, экологическая безопасность, экстренный мониторинг, бассейновая геосистема, конвергенция, расчетные створы, гидрографическая речная сеть, гидротехнические сооружения, паводковый расход, система.

**Key words:** natural-technical system, water security, environmental security, emergency monitoring, basin geosystems, convergence, settlement gauges, hydrographic river network, hydraulic structures, high-water flow system.

Исходя из единства действий природы и проводимой хозяйственной деятельности по использованию водных ресурсов формирующихся в пространственных пределах бассейновых геосистем (ППБг), опасность возникновения и развития возможных гидродинамических аварий на функционирующих «Объектах деятельности» в составе природно-технических систем (ПТС) «Природная среда – Объект деятельности – Население» («П.С.-О.Д.-Н») обуславливается следствием проявления причинной цепи предпосылок, которые приводят к потере их конструктивной целостности, путем высвобождения накопленной энергии в сооружениях напорного фронта (чаша водохранилища, тела и основания плотины, водосбросных и водозаборных сооружений и др.).

В системном понимании функционирование различных типов гидротехнических сооружений, как «объектов деятельности» (О.Д.), осуществляется в составе ПТС «П.С.-О.Д.-Н», функционирующих в ППБг [5–7]. В энерго-энтропийном подходе рассмотрения процессов функционирования «О.Д.» обуславливается внутри системным хранением, преобразованием и выработкой форм энергии. Следовательно можно отметить, что техногенная опасность «О.Д.» проявляется в результате несанкционированного или неуправляемого выхода энергии, накопленной в сооружениях напорного фронта водохранилищных гидроузлов связанных с использованием водных ресурсов. Такой методологический подход в оценке возникновения и развития аварийных ситуаций на «О.Д.», как показывают результаты многолетних исследований ПТС «П.С.-О.Д.-Н» на Северном Кавказе [8–9], не противоречит фундаментальным законам энтропии (первому и второму законам термодинамики [5, 7], в частности ее объективному стремлению к самопроизвольному росту в условиях техносферы. Так, согласно второму закону термодинамики, например, создание водохранилищных гидроузлов по упорядочиванию процессов формирования и распределения водных ресурсов в ППБг, к примеру, для выработки электрической энергии на ГЭС и т.п. являются «противозаконными», так как обуславливают собой снижение темпов роста энтропии в зонах влияния рассматриваемого «О.Д.» в составе ПТС «П.С.-О.Д.-Н», что и определяет их потенциальную опасность, поскольку содержат в себе не естественные с точки зрения энтропии преобразования [11–13]. Следует также отметить, что законы энтропии объективно играют определенную роль виртуального бухгалтера в природной среде путем балансового соотношения частей свободной энергии ( $E_{свб}$ ) и связанной энергии ( $E_{свз}$ ) рис. 1 (первый закон) и штурмана, указывающего направление происходящих преобразований в природных средах [9, 10, 11] рассматриваемой системы (второй закон).

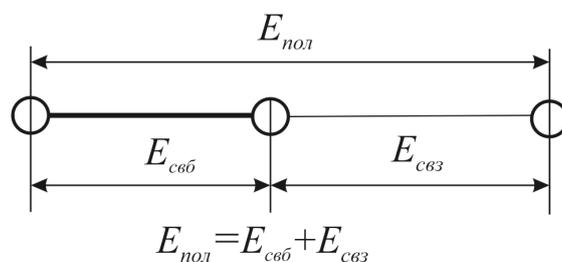


Рис. 1. Схема балансового энергетического соотношения в ПТС «П.С.-О.Д.-Н»

Неуправляемый выход энергии на действующих «О.Д.», к примеру водохранилищных гидроузлах, как показывают результаты многолетних исследований происходит в результате недостаточного уровня обеспечения гидрологической, гидравлической, фильтрационной, конструктивной и эксплуатационной безопасности (рис. 2), из которых гидрологическая часть является доминирующей. Доминирование гидрологической части безопасности водохранилищных гидроузлов для населения и окружающей среды обуславливается исходным началом причинной цепи предпосылок возникновения и развития аварийных ситуаций на сооружениях напорного фронта, которые взаимосвязаны с характером формирования стока (поверхностного и подземного) на водосборной территории до створа рассматриваемого гидроузла. Системный механизм действующий в пространственных пределах рассматриваемой водосборной территории [1–3], обеспечивает процессы формирования речного стока и его добегания до створа водохранилищного или водозаборного гидроузла за расчетные периоды времени с расходами (м<sup>3</sup>/с) получаемой обеспеченности.

Следовательно, гидрологическая безопасность в створе рассматриваемого водохранилищного или водозаборного гидроузла определяется двумя основными факторами – паводковыми расходами стока ( $Q$  м<sup>3</sup>/с) и временем его добегания ( $t$ ,  $t_0$ ) по рассматриваемому руслу речной гидрографической сети.

**Материалы и методы.** Системное изучение процессов формирования стока в пространственных пределах рассматриваемой части бассейновой геосистемы [4], его прохождение по гидрографической речной сети до створа расположения «О.Д.» и использование определило собой принципы конвергентного подхода в решении задачи по обеспечению гидрологической безопасности, а в итоге экологической безопасности (Э.Б.). Использование конвергентного принципа позволяет применять современные достижения в области информационных систем, математического моделирования гидрологических процессов формирования и прохождения стока по речной сети, технологии эксплуатации «О.Д.» и других научных направлений. Так, использование современных информационных систем позволяет получить и передавать необходимую информацию о характере формирования паводкового стока в задаваемые периоды времени, что обеспечивает принятия необходимых мер по обеспечению безопасности для населения и окружающей природной среды в зонах влияния «О.Д.». Такой методологический подход позволил создать автоматизированную систему прогнозирования (АСП) и экстренного мониторинга (ЭМ) процессов формирования и стекания поверхностного стока с водосборной территории речной гидрографической сети.

Предлагаемая АСП и ЭМ включает в себя три основных подсистемы:

- подсистема оперативного сбора данных (ПОСД), включающая в себя комплекс автоматических постов мониторинговых наблюдений в расчетных створах речной гидрографической сети выше по течению от створа водохранилищного или водозаборного гидроузла, при этом время добегания паводковых расходов по расчетам должно быть не менее 40 мин;
- подсистема гидравлического моделирования неустановившегося движения речного потока воды в рассматриваемом русле по входным и верифицирующим данным (ПОСД);
- подсистема накопления, хранения, аналитической обработки, отображения и представления гидрологической и другой диагностической информации с выдачей рекомендаций по управлению режимами работы водосбросных, водозаборных, водоспускных сооружений напорного фронта водохранилищного или водозаборного гидроузла.

В расчетных створах речной гидрографической сети основным количественным показателем является расход воды в речном русле, который автоматически определяется через уровеньный режим. Для определения уровеньного режима и соответственно расхода воды в речном русле используется измерительный комплекс ЭМЕРСИТ (ИК ЭМЕРСИТ) с приемником сигналов ГЛОНАС/GPS, позволяющий осуществлять архивирование результатов измерений, передаче этих результатов по каналам связи, генерации тревожных сообщений при возникновении и развитию опасных паводковых явлений. Информационный аналитический комплекс (ИАС) «ЭМЕРСИТ» позволяет создать мониторинговую систему оперативного контроля возникновения и развития опасных явлений наводнения и подтопления на контролируемой водосборной территории бассейновой геосистемы, в пределах которой размещены объекты хозяйственной деятельности, в т.ч. и водохранилищные или водозаборные гидроузлы. На рисунке 3 приведена структурная схема программного обеспечения сервера «ЭМЕРСИТ».

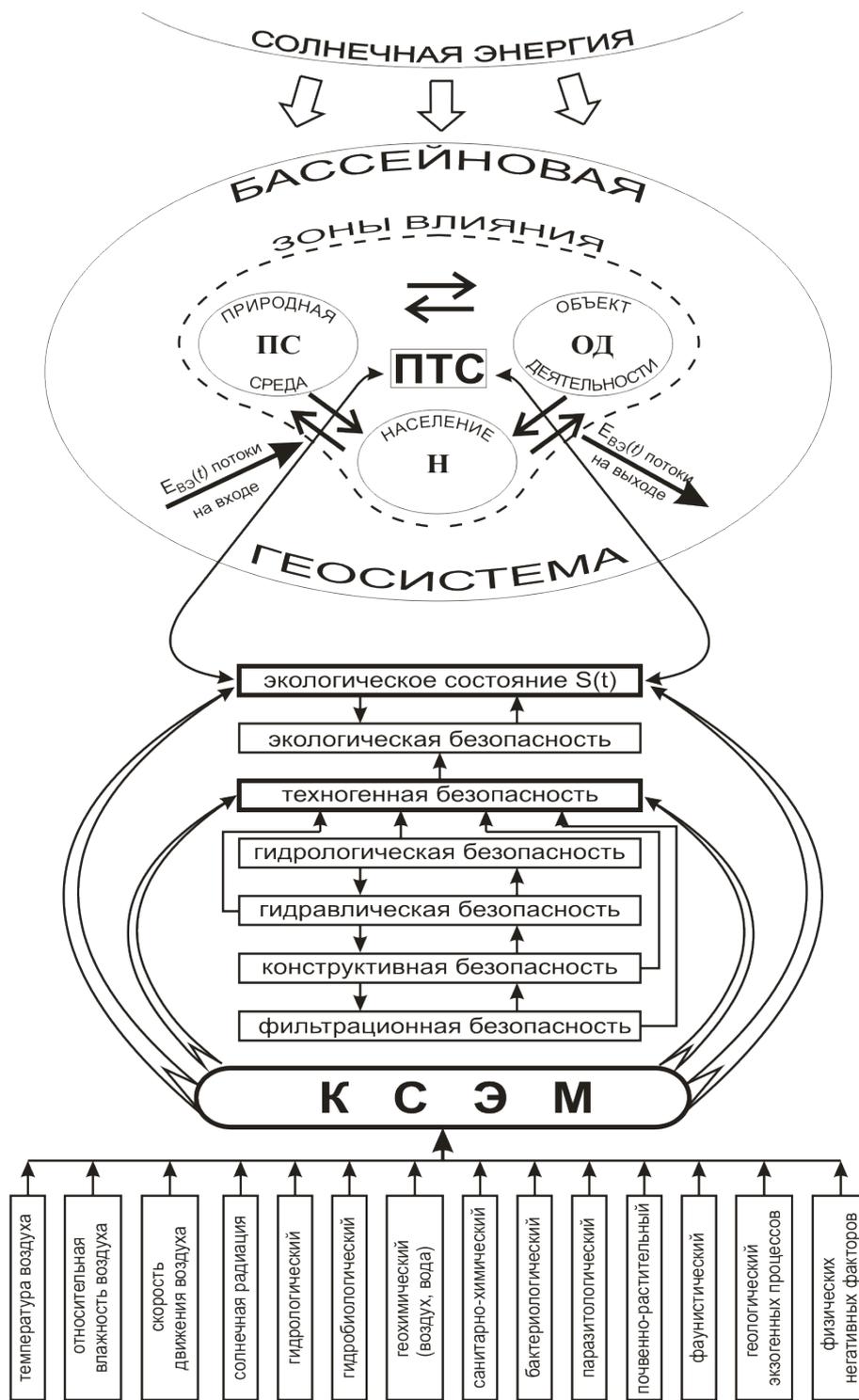


Рис. 2. Схема технологии системного комплексного мониторинга в зонах влияния «О.Д.»

Практическое использование ИАС «ЭМЕРСИТ» весьма актуальна в ЮФО и регионе Северного Кавказа, подтверждением этому является паводковые наводнения в Крымске (2013 г.), Сочи (2015 г.). Так, для обеспечения гидрологической безопасности на водозаборных гидроузлах рек Б. Зеленчук, Маруха, Аксаут бассейновой геосистемы Верхней Кубани входящих в состав ПТС «П.С.-О.Д.-Н» по использованию водных ресурсов на Зеленчукской ГЭС – ГАЭС, разработана информационная автоматизированная система прогнозирования режимов водности на гидрографических сетях рек Б. Зеленчук (площадь водосбора  $F_{вод} = 779 \text{ км}^2$ ), Маруха ( $F_{вод} = 333 \text{ км}^2$ ) и Аксаут ( $F_{вод} = 580 \text{ км}^2$ ) для целей обеспечения гидрологической безопасности на водозаборных гидроузлах. Следует отметить, что ниже створов водозаборных гидроузлов находятся населенные пункты (ст-цы Зеленчукская, Корданицкая и др.), что обуславливает экологическую безопасность в зонах влияния «О.Д.» в рассматриваемой ПТС «П.С.-О.Д.-Н».

Структурно-функциональная схема системы прогнозирования и экстренного мониторинга на водозборных гидроузлах и участка р. Кубань ниже по течению до Усть-Джегутинского водохранилища Зеленчукской ГЭС – ГАЭС приведены на рис. 4.

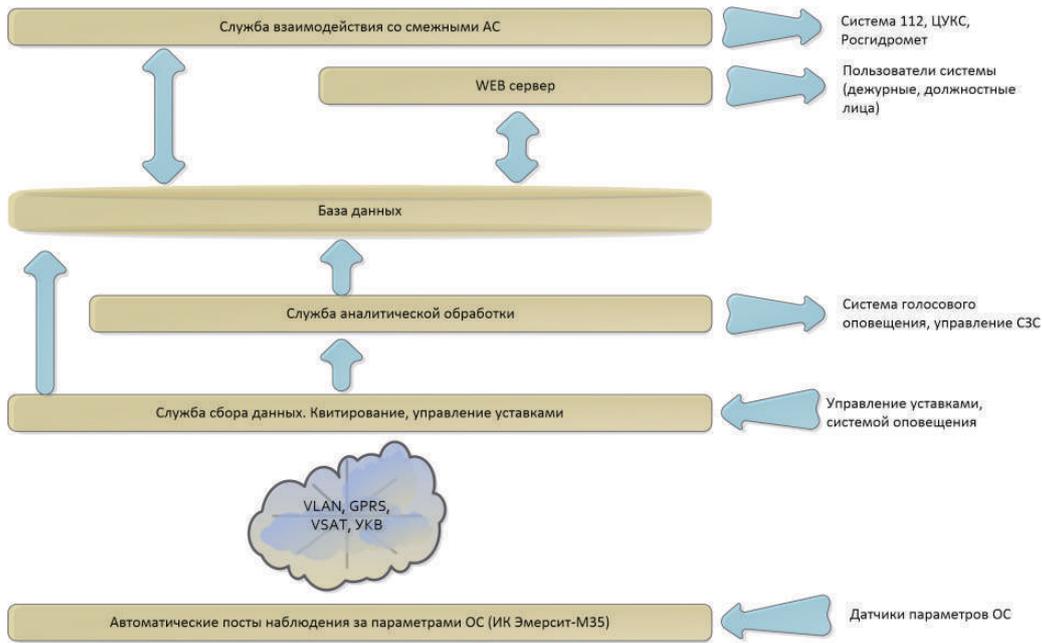


Рис. 2. Структурная схема ИАС ЭМЕРСИТ

Рис. 3. Структурная схема ИАС «ЭМЕРСИТ»

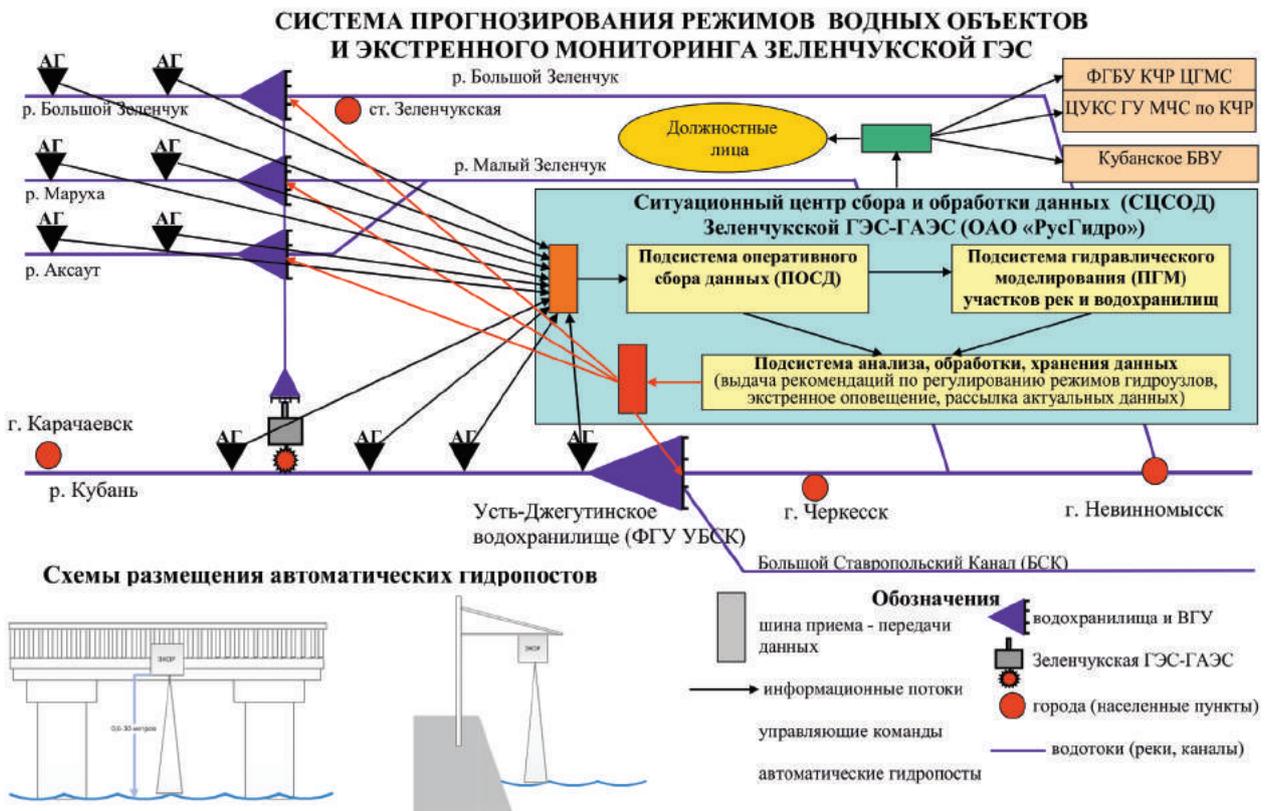


Рис. 4. Структурно-функциональная схема системы прогнозирования и экстренного мониторинга в зонах влияния водозаборных гидроузлов Зеленчукской ГЭС-ГАЭС

АСП и ЭМ является инструментом для выполнения оценочных и прогнозных расчетов гидравлического режима на водотоках гидрографической речной сети в расчетных створах, предоставления оперативных гидрологических данных (расходов воды  $Q \text{ м}^3/\text{с}$ ), определения неблагоприятного явления (НЯ) или опасного явления (ОЯ) не менее чем за 40 мин. до его наступления, оповещения должностных лиц и дежурных.

Критериальные значения наступления НЯ и ОЯ устанавливаются оператором системы и не могут быть изменены в процессе работы автоматизированной системы (АС). Функции подсистемы оперативного сбора данных выполняются на автоматических гидрологических комплексах (АГК), которые устанавливаются в расчетных створах гидрографической сети на Г-образной консоли рис. 5. Задание параметров проведения измерений осуществляется с автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора системы.

Перечень подсистем АС и их функций приведены в таблице 1.

Гидрологические и диагностические параметры полученные на расчетных створах гидрографической речной сети отображаются на электронной карте водосборной территории с использованием Web-технологий. Исходя из условий оперативного мониторинга стокоформирующих факторов (осадкомерные станции, АГК в расчетных створах, средства передачи, обработки и накопления гидрометеорологических данных) осуществляется на основе математических моделей. Система моделей включает в себя модели блоков: «осадки-сток» с локальных участков водосбора; руслового добега стокового расхода ( $Q \text{ м}^3/\text{с}$ ) в режиме неустановившегося движения потока; затопления прилегающих территорий на рассматриваемом речном русле; трансформации водного потока при взаимодействии его с различными сооружениями расположенными непосредственно в русле реки и прилегающих к нему территорий.



Рис. 5. Общий вид измерительного комплекса «ЭМЕРСИТ» на Г-образной консоли

Таблица 1

Подсистемы АС и их функции

Подсистема	Функция
Подсистема оперативного сбора данных (гидрологических наблюдений)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- измерение гидрологических параметров;</li> <li>- первичная обработка результатов измерений;</li> <li>- накопление и передача результатов измерений;</li> <li>- получение сигналов точного времени от системы GPS/ГЛОНАС;</li> <li>- определение и передача географических координат АГК;</li> <li>- регистрация, хранение и передача диагностической информации о состоянии АГК;</li> <li>- формирование тревожной информации.</li> </ul>
Подсистема накопления, хранения, аналитической обработки, отображения и представления гидрологической информации, информации о состоянии инженерных конструкций (берега, дамбы и пр.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- двухсторонний обмен информацией с АГК и с приборами светозвуковой сигнализации;</li> <li>- получение данных от АГК, проверка, квитирование и журналирование сообщений;</li> <li>- задание уставок, соответствующих различным уровням опасности;</li> <li>- передача тревожных сигналов об изменении уровня опасности в систему экстренного оповещения;</li> <li>- диагностика устройств СЗС (светозвуковой сигнализации);</li> <li>- ведение статистики состояний приборов СЗС;</li> <li>- предоставление результатов гидрологических измерений и диагностических данных от АГК с использованием ГИС технологий;</li> <li>- хранение результатов выполнения расчётов;</li> <li>- отображение текущей и архивной информации с использованием ГИС технологий;</li> <li>- отображение результатов вычислений с использованием ГИС технологий.</li> </ul>
Подсистема гидрологического моделирования	<ul style="list-style-type: none"> <li>- получение, проверка и квитирование данных от подсистемы сбора и обработки данных;</li> <li>- выполнение расчетов на основе специальной реализации математической модели неустановившегося гидравлического режима водотоков (Сен-Венана) с использованием создаваемой цифровой модели русла;</li> <li>- передача результатов выполнения расчётов в БД;</li> <li>- предоставление результатов выполнения расчётов операторам.</li> </ul>

Подсистема связи и доставки	<ul style="list-style-type: none"> <li>- доставка результатов измерения гидрологических параметров и диагностической информации от АГК к ЦСОД (центр сбора и обработки данных);</li> <li>- доставка тревожной информации в виде SMS сообщения о наступлении НЯ или ОЯ или о повышенной готовности от АГК на мобильные телефоны должностных лиц;</li> <li>- доставка тревожной информации о наступлении НЯ или ОЯ или о повышенной готовности от ЦСОД к системе экстренного оповещения;</li> <li>- доставка тревожной информации о наступлении НЯ или ОЯ или о повышенной готовности от системы экстренного оповещения к приборам светозвуковой сигнализации;</li> <li>- доставка тревожной информации в виде голосовых сообщений и SMS оповещения о наступлении НЯ или ОЯ или о повышенной готовности от системы экстренного оповещения на стационарные и мобильные телефоны должностных лиц.</li> </ul>
Подсистема информирования должностных лиц	<ul style="list-style-type: none"> <li>- получение информации о наступлении НЯ или ОЯ или повышенной готовности от ЦСОД;</li> <li>- получение гидрологических данных места наступления НЯ или ОЯ или повышенной готовности;</li> <li>- отображение текущих и архивных гидрологических данных с помощью ГИС технологий;</li> <li>- выдача тревожных сообщений.</li> </ul>
Подсистема формирования управляющих воздействий по регулированию режимов работы гидроузлов	<ul style="list-style-type: none"> <li>- выдача рекомендаций по регулированию режимов водных объектов.</li> </ul>
Подсистема защиты информации	<ul style="list-style-type: none"> <li>- защита канала связи между АГК в сети Internet и ЦСОД;</li> <li>- защита канала связи между ЦСОД и устройствами в сети.</li> </ul>

Построение модели первого блока «осадки-сток» выполняется на основе опробированной ранее методики ландшафтно-гидрологического районирования (ЛГР) [Косолапов А. Е., Кувалкин А. В., Мордвинцев М. М., 1955]. Для оценки показателя водоотдачи локального водосбора рассматриваемой бассейновой геосистемы используются два показателя: - коэффициент формы  $\sqrt{F}/L$ , где F – площадь водосбора (км<sup>2</sup>); L – длина водосбора вдоль линии тока; коэффициент растяжения L/B, где B – наибольшая ширина водосбора.

Морфологическая структура (средневзвешенный уклон территории и др.) водосбора также является важным фактором водоотдачи водосбора и формирования речного гидрографа.

Модель руслового добега стокоского расхода включает в себя расчет неустановившегося режима движения водного потока в открытом речном русле [Кувалкин А. В., Бондаренко В. Л. и др. 2009, 2013] базируется на системе моделей неустановившегося неравномерного движения водного потока (Сен-Венана).

Уравнение неразрывности для речного русла с элементами бокового притока имеет вид:

$$\omega \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = q \tag{1}$$

где Q – расход воды, м<sup>3</sup>/с;

$\omega$  – площадь живого сечения, м<sup>2</sup>;

V – средняя скорость течения, м/с;

q – боковой приток на единицу длины, м<sup>2</sup>/с;

x и t – соответственно пространственная и временная координаты, м и сек.

Развернутая форма одномерного уравнения количества движения для русла водотока с учетом бокового притока, имеет вид:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{g}{\omega} \cdot \frac{\partial(\overline{H} \cdot \omega)}{\partial x} + \frac{V \cdot q}{\omega} = g(I - I_f), \tag{2}$$

где g – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;

$\overline{H}$  – расстояние от водной поверхности до центра тяжести водного сечения (в других формулах вместо него используют среднюю по сечению глубину потока);

I – уклон дна русла, м/м;

$I_f$  – гидравлический градиент (уклон трения),

$$I_f = \frac{Q^2}{K^2}$$

$K = C\omega\sqrt{R_h}$  – пропускная способность русла, определяемая гидравлическим радиусом (отношением площади живого сечения к смоченному периметру) –  $R_h$ , площадью живого сечения  $\omega$  и коэффициентом

пропорциональности  $C$  (скоростной коэффициент Шези), связанного со скоростью движения потока, а также шероховатостью русла.

Для расчета по уравнениям (1) и (2) описывающих неустановившееся неравномерное движение руслового потока водных масс, задается начальными и граничными уравнениями на рассматриваемом участке реки (водотока). Под начальными условиями принимается состояние потока, его скорость и расход в момент времени  $t=0$ . Граничные условия определяют глубину водного потока, его скорость и расход в рассматриваемых створах в любые моменты времени  $t>0$ .

В качестве начального условия задаются параметры равномерного установившегося потока, равного величине базисного стока в реке (либо нулевые значения), или данные для всех расчетных створов из предыдущего цикла расчетов, в том числе с учетом оперативного мониторинга на автоматических гидропостах. Это условие описывается расходами, которые были известны во всех расчетных створах гидрографической сети на предыдущем цикле расчетов. Таким образом, выделяется всего  $n+1$  расчетных створов и  $n$  расчетных участков, в которых рассчитывается трансформация входного потока, поступающего в створе № 0 (поступление расхода с вышерасположенного участка или участков, если имеется выделенный участок бокового притока). Если поток на начальный момент расчета является неустановившимся, то следует задать индивидуальные значения расходов для всех створов по данным предыдущего расчета или известные (по данным гидропостов) значения.

В качестве граничных условий задается для каждого момента времени  $t$  в верхнем створе значения поступающих расходов с вышерасположенного участка (участков). В нижнем створе участка для каждого  $t$  задаются граничные условия в зависимости от замыкающего створ элементов. Если на границе участка продолжается свободное русло, то граничными условиями служат заданные (рассчитываемые) уравнения взаимосвязи поперечного сечения, скорости (или расхода) и уровней.

Для реальных русел в условиях неравномерного движения площадь поперечного сечения меняется вдоль водотока (координаты  $x$ ).

Однако, поскольку не всегда имеются детальные морфометрические параметры рек, используются усредненные характеристики для выделенных расчетных участков на основе имеющихся морфометрических данных. Таким образом, весь участок разбит на «характерные» участки в пределах которых считается, что морфометрические характеристики неизменны. При этом для отправного створа № 0 в начале участка гидрограф расходов задается в соответствии с текущей гидрологической обстановкой на основе расчета поступления стока с вышерасположенных участков –  $Q_{0t}$  в расчетные интервалы  $0 \div t$ ,  $m^3/c$ .

Схема алгоритма модели, кинематической волны в системе водотоков гидрографической сети для численной реализации, предполагает расчет для отдельных ветвей графа-дерева водотоков в несколько этапов в зависимости от количества выделенных порядков водотоков, согласно топологической схемы. Сначала выполняется расчет выходных гидрографов, начиная с верхних «характерных» участков водотоков самого высокого порядка и далее вниз для следующих нижерасположенных участков, до впадения в водотоки следующего порядка. Сформированные выходные гидрографы являются составляющими граничных условий для водотоков следующего порядка. На втором этапе осуществляется расчет выходных гидрографов для «характерных» участков водотоков следующего порядка по аналогичному алгоритму, начиная с самого верхнего участка, причем выходные гидрографы боковых притоков суммируются во входном створе с полученным для вышерасположенного участка расчетным гидрографом каждого очередного участка водотока следующего порядка. И, так далее – для следующего порядка водотоков, включая, в конечном счете, основной водоток рассматриваемой гидрографической сети.

Для каждого расчетного участка решается уравнение кинематической волны с учетом согласования решения по известным для данного участка морфометрическим характеристикам, данным поперечников и составленного продольного профиля, на основе которых строятся аналитические зависимости в виде кусочно-непрерывных кривых:

$Q(H)$  – зависимость расхода в створе от уровня;

$H_{cp}(Q)$  – зависимость среднего уровня воды от расхода в створе;

$w(Q)$  – зависимость живого сечения от расхода в створе;

$H(Q)$  – зависимость абсолютного значения отметки уровня от расхода в створе;

$Q(w)$  – зависимость расхода от площади поперечного сечения.

Данные взаимосвязи строятся на основе выполненных инструментальных измерений, с использованием гидравлических уравнений Шези-Маннинга для вычисления скорости потока в зависимости от уклона, шероховатости участка, формы и поперечного сечения русла. Поскольку данные параметры, так или иначе, связаны с остальными характеристиками потока, в частности средней шириной, максимальными и средними уровнями участка водотока, площадью поперечного сечения и расходом на участке, не представляет труда выполнить математические построения для определения указанных зависимостей.

В предлагаемом алгоритме соотношение конечных интервалов времени  $\Delta t$  и длины расчетного «характерного» участка  $\Delta x$  подбираются таким образом, чтобы можно было выполнять расчеты с временным

шагом от 10 до 20 минут, либо менее, что вполне достаточно для прогностических расчетов и принятия оперативных решений. Параметр временного шага  $\Delta t$  задается оператором исходя из интересующей его детализации расчетов. Если устанавливается, что заданная крупность интервала большая, чем время добегания расхода в соответствии со средней скоростью движения потока на участке, то расчет автоматически (для получения устойчивого решения) выполняется для допустимого по условиям Куранта более мелкого интервала для усредненных данных, а затем полученный результат обобщается для установленного более крупного. Как показали многочисленные численные эксперименты на реализованных моделях для Верхней Кубани оптимальным интервалом (шагом расчета) является указанный диапазон от 10 до 20 минут в зависимости от интенсивности изменения расходов в реке.

**Выводы.** На основе результатов многолетних мониторинговых исследований в зонах влияния водозаборных гидроузлов на реках Б. Зеленчук, Маруха и Аксаут в пространственных пределах бассейновой геосистемы Верхней Кубани и анализа гидрологических характеристик процессов по формированию поверхностного стока разработана структурно-функциональная схема системы прогнозирования и экстренного мониторинга, позволяющая своевременно обеспечить необходимой количественной и временной информацией паводковых расходов ( $Q \text{ м}^3/\text{с}$ ) поверхностного речного стока вод, формирующегося на водосборной территории бассейновой геосистемы выше по течению от створов водозаборных гидроузлов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко В. Л., Гутенев В. В., Приваленко В. В., Поляков Е. С. Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) при проектировании водохозяйственного комплекса Зеленчукской ГЭС. // Теоретическая и прикладная экология. № 1. 2007. С. 47-54.
2. Бондаренко В. Л., Дьяченко В. Б. Оценка экологического состояния бассейновой геосистемы в процессах использования водных ресурсов. // Проблемы региональной экологии. № 2ю 2005. С. 86-92.
3. Бондаренко В. Л., Дьяченко В. Б. Теоретические основы оценки уровня безопасности водоподпорных гидротехнических сооружений // Водное хозяйство России. т.3. №2. 2001. С. 159-162.
4. Бондаренко В. Л., Дьяченко В. Б., Гутенев В. В., Федорян А. В. Системный подход в оценке воздействия водохранилищ на окружающую среду // Проблемы региональной экологии. № 5. 2006. С. 6-12.
5. Бондаренко В. Л., Скибин Г. М., Азаров В. Н., Семенова Е. А., Приваленко В. В. Экологическая безопасность в природообустройстве, водопользовании и строительстве: оценка экологического состояния бассейновых геосистем; монография: ЮРГТУ (НПИ) им. Платова. Новочеркасск: 2016. 416 с.
6. Природно-технические системы в использовании водных ресурсов: территории бассейновых геосистем: монография / Бондаренко В. Л., Семенова Е. А., Алиферов А. В., Клименко О. В.: Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ). 2016. 204 с.
7. Экологическая безопасность в строительстве. Инженерно-экологические изыскания в комплексе изысканий под строительство водохозяйственных объектов: монография / В. Л. Бондаренко [и др.]; Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ– Новочеркасск, 2016. 309 с.
8. Водные ресурсы СССР и их использование. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 302 с.
9. Кузнецов О. Л., Кузнецов П. Г., Большаков Б. Е. Система природа - общество - человек: Устойчивое развитие. Государственный научный центр Российской Федерации ВНИИ геосистем «Дубна», 2000. 410 с.
10. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов. М.-Л., 1960. 380 с.
11. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок и Хаос. М.: Прогресс, 1986. 432 с.
12. Природообустройство: территории бассейновых геосистем: учебное пособие / под общ. ред. И. С. Румянцев. Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ», 2010. 528 с.
13. Решение экологических проблем при проектировании гидротехнических сооружений (на примере бассейновой геосистемы Верхней Кубани) / В. Л. Бондаренко, В. В. Приваленко, А. В. Кувалкин, В. С. Поляков, С. Г. Прыганов; Южный научный центр РАН, 2009. 309 с.

### REFERENCES

1. Bondarenko V. L., Gutenev V. V., Privalenko V. V., Polyakov E. S. Otsenka vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredyu (OVOS) pri proektirovaniy vodokhozyaystvennogo kompleksa Zelenchukskoy GES. // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. № 1. 2007. S. 47-54.
2. Bondarenko V. L., D'yachenko V.B. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya basseynovoy geosistemy v protsessakh ispol'zovaniya vodnykh resursov // Problemy regional'noy ekologii. № 2. 2005. S. 86-92.
3. Bondarenko V. L., D'yachenko V. B. Teoreticheskie osnovy otsenki urovnya bezopasnosti vodopodpornykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy // Vodnoe khozyaystvo Rossii. t.3. №2. 2001. S. 159-162.
4. Bondarenko V. L., D'yachenko V. B., Gutenev V. V., Fedoryan A.V. Sistemnyy podkhod v otsenke vozdeystviya vodokhranilishch na okruzhayushchuyu sredyu // Problemy regional'noy ekologii. № 5. 2006. S. 6-12.
5. Bondarenko V.L., Skibin G. M., Azarov V.N., Semenova E. A., Privalenko V.V. Ekologicheskaya bezopasnost' v prirodobustroytve, vodopol'zovanii i stroitel'stve: otsenka ekologicheskogo sostoyaniya basseynovykh geosistem; monografiya: YuRGTU (NPI) im. Platova. Novocherkassk: 2016. 416 s.
6. Prirodno-tekhnicheskie sistemy v ispol'zovanii vodnykh resursov: territorii basseynovykh geosistem: monografiya / Bondarenko V. L., Semenova E. A., Aliferov A. V., Klimenko O. V.: Novocherkassk: YuRGPU (NPI), 2016. 204 s.
7. Ekologicheskaya bezopasnost' v stroitel'stve. Inzhenerno-ekologicheskije izyskaniya v komplekse izyskaniy pod stroitel'stvo vodokhozyaystvennykh ob'ektov: monografiya/V.L. Bondarenko [i dr.]; Novocherkasskiy inzhenerno-meliorativnyy institut im. A. K. Kortunova FGBOU VO Donskoy GAU. Novocherkassk, 2016. 309 s.
8. Vodnye resursy SSSR i ikh ispol'zovanie. L.: Gidrometeoizdat, 1987. 302 s.

9. Kuznetsov O. L., Kuznetsov P. G., Bol'shakov B. E. Sistema priroda - obshchestvo - chelovek: Ustoychivoe razvitie. Gosudarstvennyy nauchnyy tsentr Rossiyskoy Federatsii VNII geosistem «Dubna», 2000. 410 s.
10. Prigozhin I. Vvedenie v termodinamiku neobratimyykh protsessov. M.-L., 1960. 380 s.
11. Prigozhin I., Stengers I. Poryadok i Khaos. M., Progress, 1986. 432 s.
12. Prirodoobustroystvo: territorii basseynovykh geosistem: Uchebnoe posobie/ pod obshch. red. I. S. Rumyantseva. Rostov n/D: Izdatel'skiy tsentr «MarT», 2010. 528 s. (Uchebnyy kurs)
13. Reshenie ekologicheskikh problem pri proektirovanii gidrotekhnicheskikh sooruzheniy (na primere basseynovoy geosistemy Verkhney Kubani) / V. L. Bondarenko, V. V. Privalenko, A. V. Kuvalkin, V. S. Polyakov, S. G. Pryganov; Yuzhnyy nauchnyy tsentr RAN, 2009. 309 s.

#### ОБ АВТОРАХ

**Семёнова Елена Анатольевна**, декан факультета туризма, сервиса и пищевых технологий Института сервиса, туризма и дизайна (филиала) СКФУ в г. Пятигорске, кандидат технических наук, тел. 8-928-361-27-26, E-mail: dekanmn@mail.ru

**Semyonova Elena Anatolevna**, Dean of the faculty of tourism, service and food technology of Institute of service, tourism and design (branch) of NCFU in Pyatigorsk, candidate of technical Sciences, tel. 8-928-361-27-26, E-mail: dekanmn@mail.ru

**Алиферов Алексей Вячеславович**, ассистент кафедры техногенной безопасности мелторации и природообустройства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова Донского государственного аграрного университета, тел. 8-961-434-46-03, E-mail: aliferov\_92@mail.ru

**Aliferov Alexey Vyacheslavovich**, Assistant of the Department of technogenic safety of melioration and environmental engineering, Federal state budgetary educational institution of higher professional education Novocherkassk engineering and ameliorative Institute n.b. A.K. Kortunov of Don state agrarian university, phone 8-961-434-46-03, E-mail: aliferov\_92@mail.ru

#### ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА В ОБЕСПЕЧЕНИИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ «ОБЪЕКТОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ» В СОСТАВЕ ПТС «ПРИРОДНАЯ СРЕДА – ОБЪЕКТ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ – НАСЕЛЕНИЕ»

**Е. А. Семёнова, А. В. Алиферов**

Обеспечение гидрологической безопасности как доминирующего показателя в составе с гидравлической, фильтрационной, конструктивной, эксплуатационной возможно только при наличии своевременной информации о характере процессов формирования речного стока на гидрографической сети водосборной территории выше по течению рассматриваемого русла реки и створов расположения гидротехнических сооружений. Системное изучение процессов формирования стока в пространственных пределах рассматриваемой части бассейновой геосистемы, его прохождение по гидрографической речной сети до створов расположения гидротехнических сооружений определило собой использование конвергентного подхода в решении вопросов по обеспечению гидрологической безопасности и соответственно безопасности ГТС в целом. Конвергентный подход определил возможность использования современных достижений в области информационных систем, математического моделирования гидрологических процессов и прохождение стока по речной сети, технологии эксплуатации ГТС и других соответствующих направлений. Использование современных информационных систем, математических моделей, новых технологий эксплуатации ГТС позволило создать новую автоматизированную систему прогнозирования и экстренного мониторинга (АСП и ЭМ) по обеспечению гидрологической безопасности ГТС, к примеру, входящих в состав напорного фронта водохранилищных гидроузлов. АСП и ЭМ использует измерительный комплекс ЭМЕРСИТ с приемником сигналов ГЛОНАС/GPS, позволяющим осуществлять архивирование результатов измерений расходов воды в расчетных створах гидрографической сети, передачи этих результатов, по каналам связи, генерации тревожных сообщений об опасных паводковых явлениях в течении короткого периода времени (до 20 мин), что позволяет принять необходимые решения по управлению процессом возникновения и развития чрезвычайной ситуации.

**FUNDAMENTALS OF SYSTEMS APPROACH IN ENSURING THE HYDROLOGICAL SAFETY  
«ACTIVITIES» IN THE NTS «ENVIRONMENT – OBJECT OF ACTIVITY – POPULATION»****E. A. Semyonova, A. V. Aliferov**

Ensure the hydrological safety as the dominant figure in the composition of hydraulic, filtration, structural, operational only possible with availability of timely information on the nature of the processes of formation of river runoff on the hydrographic network of the catchment upstream of the considered river sections and location of hydraulic structures. Systematic study of the processes of runoff formation in the spatial limits of the studied part of the basin geosystems, pass through the hydrographic river network of sampling sites to the location of the hydraulic structures identified using a convergent approach in addressing issues to ensure the hydrological safety and therefore safety of hydraulic structures in General. Convergent approach identified the opportunity to use modern advances in information systems, mathematical modeling of hydrological processes and the passage of the flow of the river network, technologies for the CTA and other relevant areas. The use of modern information systems, mathematical models, new technologies, operation of hydraulic structures helped to create a new automated forecasting system and emergency monitoring (ASP and UM) to ensure the hydrologic safety of hydraulic structures, for example, included the pressure of the front reservoir of the waterworks. ASP and EM uses a measurement system EMERSIC with the receiver of signals of GLONASS/GPS allowing for the archiving of measurement results of water consumption in the settlement sections of the hydrographic network, the transfer of these results to communication channels, generate alarm messages about the threat of flood conditions within a short period of time (up to 20 minutes) that allows you to take the necessary decisions to manage the process of occurrence and development of emergencies.