

## УПРАВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫМИ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

В. Д. Красов

Воронежский государственный университет, Россия

Поступила в редакцию 10 июня 2013 г.

**Аннотация:** В статье излагаются основные положения концепции управления речным стоком в условиях нестационарности его формирования и использования. Концепция состоит из нескольких блоков: анализа исходной информации по стоку рек, выбора стоковой модели, сценариев трансформации, методологии получения характеристик (в том числе и выборочных) модифицированных последовательностей стока, стратегии управления речным стоком при наличии водохранилища многолетнего регулирования, методологии оценки нестационарного режима первоначального наполнения водохранилищ многолетнего регулирования, моделей оценки факторов нестационарности в сложных системах (на примере Или – Балхашской системы в Казахстане и р. Дон в Российской Федерации).

**Ключевые слова:** концепция, нестационарность, речной сток, сценарий трансформации, характеристики модифицированных последовательностей, стратегия управления, первоначальное наполнение водохранилищ, сложные водохозяйственные системы.

**Abstract:** The article covers the key points of the management concept of the river runoff in conditions of its unsteady formation and use. The concept consists of several blocks: analysis of initial information of river runoff, selection of runoff model, scenarios of transformation, the methodology of obtaining characteristics (including selective) modified sequences of runoff, strategy of management of river runoff in the presence reservoir of long – term regulation of methodology for assessment of non-stationary regime of the initial filling of reservoirs of long-term regulation, models of estimation of factors of instability in complex systems (on the example of lake Ili – Balkhash in Kazakhstan and river Don in the Russian Federation).

**Key words:** conception, non-stationarity, runoff, variant of transformation, characteristics of modified sequences, strategy of management, initial filling of reservoirs, complex water systems.

Проблема управления водными ресурсами в наиболее общей постановке относится к классу иерархических, многоуровневых, оптимизационных задач, где используются эколого-экономические критерии [3]. Задачи подобного рода базируются на информации о закономерностях пространственно-временных колебаний стока рек и формах его использования. В существующих эколого-экономических моделях управления гидролого-водохозяйственному блоку, на наш взгляд, уделяется недостаточное внимание. Между тем, он важен не только в связи с продуцированием информации для экономического и экологического анализа, но имеет и самостоятельное значение, когда в качестве критерия для выбора цели выступает надежность водоснабжения (расчетная обеспеченность) [18].

Особую сложность проблема управления поверхностными водными ресурсами приобретает в условиях нестационарности стокового процесса, возникающая как в связи с прямым воздействием хозяйственной деятельности на сток рек, так и из-за последствий возможных антропогенных изменений климата [1, 2, 4]. К числу нерешенных вопросов относится и режим первоначального наполнения водохранилищ многолетнего регулирования, отображаемый нестационарным распределением вероятностей. Учет факторов нестационарности требует новых подходов и затрагивает ряд основных теоретических разделов инженерной гидрологии и регулирования речного стока.

В настоящей статье освещаются основные положения разработанной автором концепции управления поверхностными водными ресурсами в условиях нестационарности их формирования и ис-

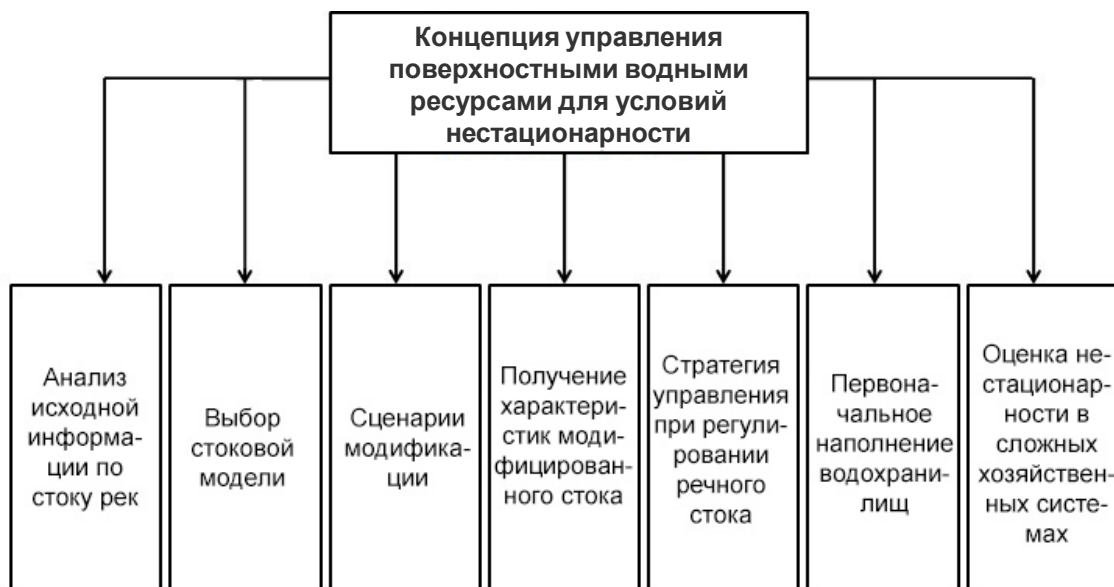


Рис. 1. Концепция управления речным стоком в условиях нестационарности

пользования. В качестве критерия нами принята надежность водоснабжения (расчетная обеспеченность). Концепция состоит из ряда блоков, имеющих системообразующее значение: от анализа исходной информации по стоку рек до исследования явлений нестационарности в сложных водохозяйственных формированиях (рис. 1). Важно подчеркнуть, что улучшение методологии оценки гидролого-водохозяйственных характеристик в каждом блоке концепции ведет к повышению объективности конечного решения.

Исследование проблемы управления водными ресурсами в условиях нестационарности предполагает, прежде всего, оценку однородности исходной информации, содержащейся в рядах наблюдений за стоком [5]. Для этой цели в гидрологии используются статистические критерии, в том числе наиболее удобные – непараметрические, в частности критерий Вилкоксона. В процессе разработки концепции критерий Вилкоксона был усовершенствован для случая рядов стока с автокорреляцией, что позволило уточнить границы критической области критерия и улучшить качество анализа однородности. Далее, автором предложен метод «модификации» для оценки чувствительности статистических критериев однородности к изменениям стока, позволяющий выбрать наиболее эффективный в ряду используемых [12]. Установлено, что критерии однородности Вилкоксона и Стьюдента реагируют на изъятие стока, начиная с 10-12 % от нормы. Метод «модификации» может быть использован не только в гидрологии, но и в

других областях знания, например, в физике. Кроме этого, в блоке 1 разработан метод «динамических» характеристик [6, 11], предназначенный для оценки репрезентативности периодов не только по норме стока, но и коэффициентам вариации и асимметрии, что необходимо при установлении квантилей. Результаты исследований по тематике первого блока концепции дали возможность более обоснованно подойти к оценке однородности и репрезентативности рядов годового стока рек Центрального Черноземья, а также р. Дон в нижнем течении.

В блоках (2-4) представлена методология оценки параметров модифицированного стока, состоящая из разделов: выбора стоковой модели, определения сценариев модификации и установления характеристик модифицированного стока. В качестве исходных моделей стока (блок 2) принимались ряды наблюдений с минимальным антропогенным воздействием, а также разнообразные последовательности годового стока, подчиняющиеся трехпараметрическому гамма-распределению С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля [18], в том числе модульные коэффициенты широко известных таблиц указанных авторов, длительные (до 100000 значений) ранжированные последовательности, получаемые автором на основе решения уравнения упомянутого выше распределения вероятностей стока, длительные хронологические последовательности, моделируемые на базе теоретической концепции Д. Я. Ратковича [19], в том числе с учетом внутригодового распределения сто-

ка. Принятая теоретическая концепция не противоречит современным представлениям о характере многолетних колебаний стока.

Исходные последовательности стока модифицировались с помощью ряда сценариев (блок 3) изменения стока во времени (а – константа, б – прямая, а так же параболы, расположенные над (в) и под (г) прямой). В процессе антропогенного воздействия может происходить как уменьшение, так и увеличение стока. Первое из них (уменьшение) является более сложным в методическом отношении и более важным с экономической точки зрения. Поэтому сценариям изъятия в дальнейших исследованиях отдается предпочтение.

Параметры стока, характеризующие нестационарные условия (блок 4), устанавливались по модифицированным последовательностям. В результате выявлены условия формирования и динамика параметров стока и его квантилей [16]. Установлено, что при  $a_{iii} > k_i$  ( $a_{iii}$  – изъятие,  $k_i$  – сток для  $i$ -го интервала времени) на кривых вероятности превышения стока появляется интервал нулевых значений (ИНС), существенно влияющий на гидрологические характеристики. Так, в частности, среднее значение модифицированного стока  $\bar{k}^*$  отклоняется от разности  $\bar{k} - \bar{a}_{ii}$  (здесь и далее  $\bar{k}$  и  $\bar{a}_{ii}$  – средние значения стока исходной последовательности и изъятия, «\*» – символ модификации), то есть  $\bar{k}^* = \bar{k} - \bar{a}_{ii} + \bar{s}$ , где  $\bar{s}$  – компенсирующее слагаемое, вызываемое появлением ИНС. Влияние ИНС увеличивается с ростом вариации стока и уменьшением соотношения  $h$  коэффициентов вариации  $C_s$  асимметрии  $C_v$ . При  $C_v = 1$ ,  $C_s = 2C_v$  и изъятии  $I = 0,5$  значение  $\bar{s}$  достигает 35% нормы стока ( $I$  – изъятие в долях нормы стока).

Отметим, что изменение параметров в нестационарных условиях довольно существенное и зависит от сценария изъятия. Так, при  $I = 0,5$  в сценарии «константа» средняя величина годового стока  $p$ . Дон у г. Калач на Дону и соотношение

$$h^* = \frac{C_s^*}{C_v^*}$$

уменьшаются по сравнению с исходными параметрами почти в два раза; коэффициент вариации  $C_v^*$  в такой же степени возрастает. Уменьшение коэффициента асимметрии  $C_s^*$  находится на уровне 5%, а значение коэффициента автокорреляции сохраняется практически на исходном уровне. Сценарии возрастающего изъятия во

времени характеризуются меньшим увеличением  $C_v^*$  (в 1,35-1,73 раза, в зависимости от изъятия) и общим уменьшением  $C_s^*$  и  $h^*$ , наиболее значительным в сценарии «в» (парабола – 1), а так же увеличением  $r^*$  (в 2,9 раза по сравнению с исходным значением). Установлено, что на кривых вероятности превышения квантилей модифицированного годового стока появляются интервалы нулевых значений, наиболее существенные при постоянном изъятии. Показано, что при формировании квантилей в условиях наличия ИНС и в сценариях возрастающего во времени изъятия происходит смещение (переменного знака) стока по вероятности, т.е. квантили модифицированного стока образуются из стока года иной вероятности превышения, чем квантили исходного стока. Установлено, что при рассмотренных параметрах модели квантили модифицированного стока удовлетворительно описываются исходным трехпараметрическим распределением вероятностей (при подборе величины  $h^*$  на основе критериев согласия).

Исследовано влияние модификации стока на выборочные характеристики: оценки основных параметров и квантилей, смещенность и стандарты выборочных оценок параметров и квантилей стока [10]. Показано, что влияние изъятия на смещенность оценок дифференцированное (в основном отрицательное). Предложены коэффициенты модификации стандартов выборочных оценок параметров  $c^* = s^*/s$  и квантилей  $c_p^* = s_p^*/s_p$ , равные отношению стандартов в модифицированном и исходном вариантах. Выявлена важная особенность – при заданном сценарии изъятия и величине  $I$  (в долях нормы стока) коэффициенты  $c^*$  и  $c_p^*$  практически не зависят от длительности выборки  $n$ , то есть при оценке динамики стандартов в зависимости от изъятий в этих случаях можно оперировать средней величиной коэффициентов модификации стандартов и квантилей.

Выполненные исследования динамики стандартов выборочных характеристик под влиянием изъятия стока являются пионерными и могут квалифицироваться как вклад в развитие теории оценок точности характеристик стока рек для условий нестационарности.

В блоке 4 впервые установлено влияние внутрigoдового распределения на динамику параметров и квантилей модифицированного годового стока [9]. Показано, что в широком диапазоне случаев на кривых вероятности превышения квантилей годового стока отсутствуют величины квантилей, равные нулю. В итоге были получены более обо-

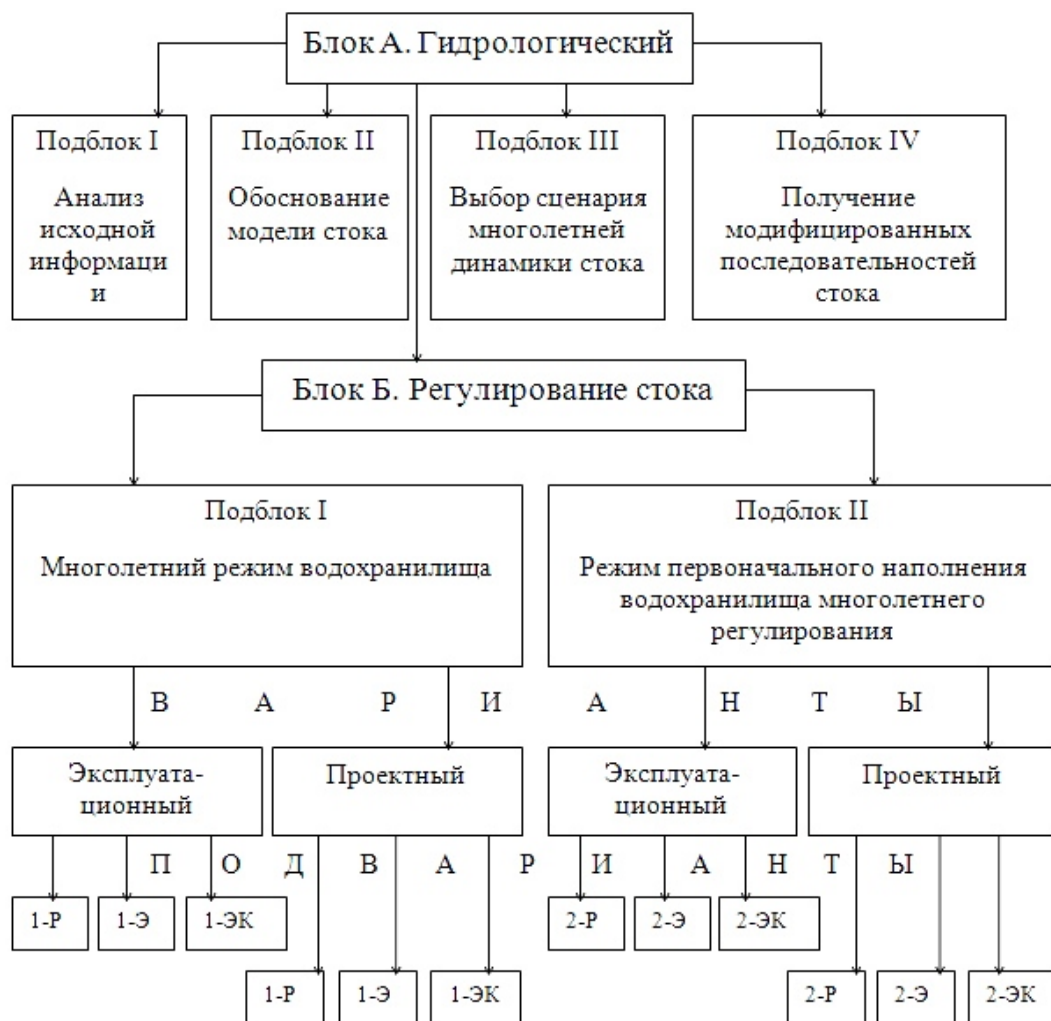


Рис. 2. Структура стратегии управления речным стоком в условиях нестационарности при наличии водохранилища многолетнего регулирования

1 – проектный вариант    2 – эксплуатационный вариант

критерии: Р– надежность водоснабжения    э – экономический    эк – экологический

снованные значения квантилей годового стока р. Дон у г. Калач-на-Дону в различных вариантах моделей стока и сценариев изъятия.

В блоке 5 даются разработанные автором теоретические основы стратегии управления поверхностными водными ресурсами в условиях нестационарности при наличии водохранилища многолетнего регулирования стока [15]. Структура стратегии управления представлена на рис. 2. При обосновании стратегии автор исходил из положения о том, что ее главная функция состоит в выборе основных параметров водохранилища, а составление диспетчерских графиков режима водохранилищ относится к числу оперативных средств управления. Центральным звеном стратегии является построение обобщенных водохозяйственных характеристик (ОВХ) на базе расчетов регулиро-

вания по длительным искусственным последовательностям стока. Ординаты ОВХ являются, с одной стороны, непрерывной функцией параметров регулирования; с другой стороны, ее разные участки позволяют получать распределения холостых сбросов и дефицитов гарантированной отдачи водохранилища, что при наличии стоимостных показателей открывает путь к более качественному экономическому сопоставлению различных сценариев развития водохозяйственной обстановки. Продуктом реализации стратегии управления в проектном варианте являются основные параметры водохранилища для нестационарных условий: полезная емкость  $b^*$ , гарантированная отдача  $a^*$  и ее надежность (расчетная обеспеченность  $P^*$ ). Гарантированная отдача при заданном сценарии изъятия получается путем варьирования ее вели-

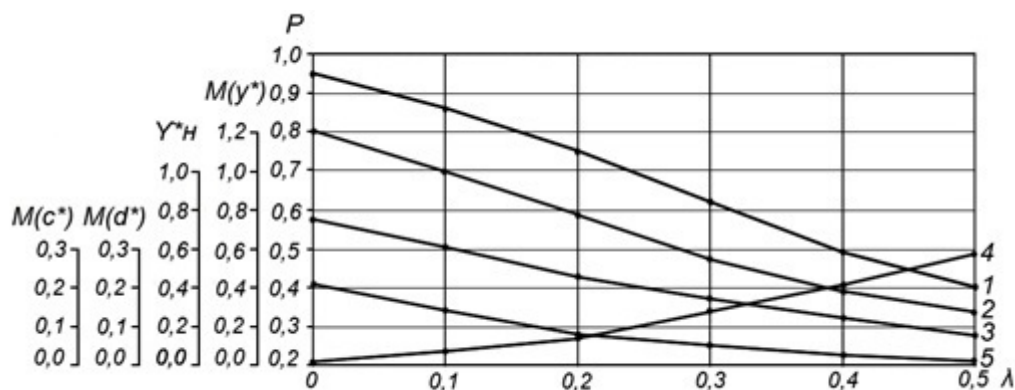


Рис. 3. Динамика характеристик регулирования при изъятии речного стока

1 –  $M(c^*)$  – холостые сбросы, 2 –  $M(d^*)$  – дефициты, 3-4 –  $M(y^*)$ ,  $g_H^*$  – наполнение полезного объема водохранилища в абсолютном выражении и в долях полезного объема, 5 –  $P$  – надежность водоснабжения,  $M$  – символ математического ожидания.

чины, с использованием итерационных процедур по соотношению:  $|P^{(n)} - P^*| \leq \epsilon$ , где  $P^{(n)}$  – надежность водоснабжения для  $n$ -ой итерации, получаемая по абсциссе ОВХ при нулевом наполнении полезного объема водохранилища,  $P^*$  – принятая надежность водоснабжения,  $\epsilon$  – точность сравнения.

Стратегия адаптирована к учету разнообразных экологических требований, поскольку обладает важным свойством: изъятие стока выше створа гидроузла может рассматриваться и как обязательный попуск в нижний бьеф. На базе предложенной стратегии исследована динамика основных параметров водохранилища в зависимости от изменения стока. На рис. 3 можно проследить изменение широкого спектра характеристик водопользования, в том числе надежности водоснабжения, от изъятия воды для случая с длиной последовательности  $N = 1000$  и параметрами:  $\bar{k} = 1,0$ ,  $C_v = 0,5$ ,  $C_s = 1,0$ ,  $r = 0,3$ ,  $P = 0,95$ ,  $a = 0,8$ ,  $b = 1,6$  и  $0 \leq I \leq 0,5$  (сценарий изъятия «константа»). Предложенная здесь методология может быть использована для широкого диапазона сценариев.

В блоке 6 концепции излагается новая методология оценки режима первоначального наполнения водохранилищ многолетнего регулирования стока [17], который предшествует их переходу на нормальный режим эксплуатации, отвечающий выбранным параметрам регулирования. По своему генезису режим первоначального наполнения является нестационарным и отображается распределением вероятностей нестационарного типа. Центральным звеном расчетно-методических построений здесь являются условные водохозяйственные характеристики (УВХ), использование которых впервые предложено автором. Каждая из

УВХ для данного года периода первоначального наполнения отображает в вероятностной форме распределение наполнений в пределах полезного объема, холостых сбросов и дефицитов отдачи водохранилища. Абсцисса УВХ при наполнении равно нулю, соответствует надежности водоснабжения. Подобный набор характеристик позволяет получить оптимальный режим первоначального наполнения как на основе экономических методов (при наличии стоимостных показателей), так и путем использования критерия надежности водоснабжения (расчетной обеспеченности). УВХ строится на основе расчетов регулирования по длительным искусственным последовательностям стока.

На основе предложенной методологии исследованы условия важнейшего момента в первоначальном наполнении – перехода на гарантированную отдачу, отвечающую выбранным параметрам водохранилища. Выявлено, что существует такое наполнение полезной емкости (емкость перехода  $b_H$ ), при котором вероятность перебоя в последующий период ни в одном году не превышает нормативную для режима нормальной эксплуатации. Емкость перехода представляет собой новый параметр регулирования стока. Дальнейший анализ позволил установить, что значение  $b_H$  удовлетворительно согласуется с математическим ожиданием наполнений водохранилища, определяемым по ОВХ (для нормального режима эксплуатации).

В диссертации разработан метод регламентации отдачи  $a_p$  водохранилища заданной надежности (обеспеченности  $P$ ) в зависимости от достигнутого первоначального запаса воды  $X_H$  в пределах полезной емкости (зависимость  $L = f(X_H)$ ). Метод основан на использовании итерационных

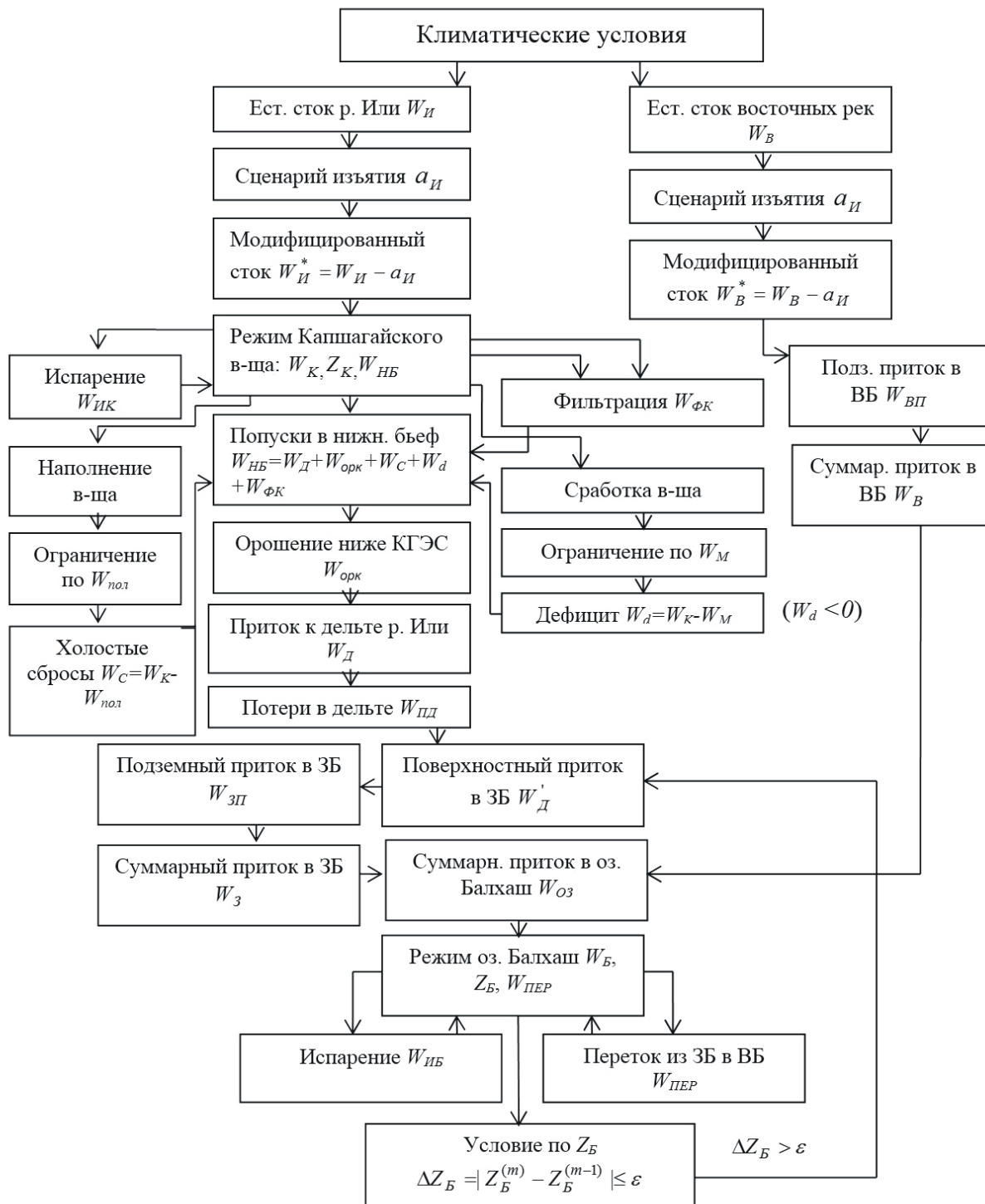


Рис. 4. Модель оценки нестационарного режима Или – Балхашской водной системы

Примечание:  $W_K, Z_K, W_{ФК}$  – наполнение, уровень и потери на фильтрацию для Капшагайского водохранилища,  $Z_B^{(m)}, Z_B^{(m-1)}$  – уровень оз. Балхаш при  $m$ -ой и  $(m-1)$ -ой итерациях,  $\Delta Z_B$  – разность между уровнями озера для  $m$ -ой и  $(m-1)$ -ой итераций,  $\epsilon$  – точность сравнения.

процедур при заданном  $X_H$  по соотношению:  $|P_{min}^{(n)} - P| \leq \epsilon_1$ , где  $P_{min}^{(n)}$  – наименьшая величина надежности за период первоначального наполнения при  $n$ -ой итерации,  $P$  – нормативная надежность

водоснабжения (расчетная обеспеченность),  $\epsilon_1$  – точность сравнения.

Зависимость  $L = f(X_H)$  применяется далее в качестве исходной при построении диспетчерских графиков для режима водохранилищ в период пер-

Характеристика режима Или-Балхашской системы на 2020 г. ( $\bar{a}_{И}$  = 5,4 км<sup>3</sup>,  $\bar{a}_{ИД}$  = 2,4 км<sup>3</sup>)

Оз. Балхаш			Капшагайское водохранилище
Вероятность превышения, %	Уровни, м	Переток из ЗБ в ВБ, км <sup>3</sup>	Уровни, м
5	340,7	2,6	479,0
50	339,7	1,1	476,0
95	337,0	-2,0	474,5

воначального наполнения с учетом внутригодового распределения стока.

В блоке 7 концепции содержатся новые модели учета явлений нестационарности в сложных водохозяйственных системах (на примере Или-Балхашской системы и системы Дона). В составе первой из них находятся один из крупнейших бессточных водоемов – озеро Балхаш и весьма емкое Капшагайское водохранилище на р. Или, во второй функционирует Цимлянское водохранилище на р. Дон. Нестационарность режима указанных систем вызывается первоначальным наполнением водохранилищ и ростом безвозвратного изъятия воды на хозяйственные нужды из стока рек.

Для Или – Балхашской водной системы разработана модель оценки нестационарного режима (рис. 4), наиболее полно учитывающая характер прямых и обратных связей [7, 13, 14]. Она использовалась при задании условий предстоящей водности как рядами наблюдений, так и длительными искусственными последовательностями, получаемыми на основе модернизированной концепции моделирования Д. Я. Ратковича двух взаимозависимых совокупностей с автокорреляцией. Оценка ожидаемого уровня оз. Балхаш, выполненная по наблюдаемой  $n$ -летке, удовлетворительно совпала с фактическими данными. Длительные искусственные последовательности использовались для оценки вероятных значений уровня оз. Балхаш, перетока из западной части (ЗБ) в восточную (ВБ) и уровня Капшагайского водохранилища (впервые при новых параметрах: нормальный подпорный уровень НПУ = 479 м, уровень мертвого объема 474,5 м). Полученные характеристики представлены в таблице ( $\bar{a}_{И}$  – величина общего изъятия стока,  $\bar{a}_{ИД}$  – изъятие, дополнительное к современному состоянию).

По системе Верхнего Дона обосновано многофакторное уравнение водохозяйственного баланса (ВХБ) и оценен баланс для наивысшего уровня

безвозвратного изъятия воды. Предложено задавать водность всем рядом гидрологических наблюдений или длительными искусственными последовательностями. В этом случае уравнению ВХБ придается стохастический смысл, а результаты ВХБ представляются в вероятностной форме. Рекомендовано дифференцировать дефицит стока по различным категориям, что позволяет производить экономическую оценку при решении различных водохозяйственных задач.

Итак, разработана концепция управления поверхностными водными ресурсами, новизна которой заключается в том, что в ней впервые учитывается нестационарность процессов стока и его регулирования. Концепция позволяет получать в нестационарных условиях не только гарантированную отдачу водохранилищ, но и распределение вероятностей холостых сбросов и дефицитов отдачи, что делает более качественной экономическую оценку различных сценариев управления. При отсутствии достаточной экономической информации (а это, как правило, имеет место) концепция может эффективно применяться в качестве самостоятельного инструмента управления речным стоком (по критерию заданный надежности водоснабжения – расчетной обеспеченности). Концепция хорошо адаптирована к учету различных экологических требований и сценариев водопользования. Следует отметить, что по всем разделам концепции получены результаты, являющиеся пионерными. Концепция может быть использована как для проектных, так и для эксплуатационных условий. В последнем случае она может применяться также и для корректировки правил использования водных ресурсов существующих водохранилищ, которые составлены для стационарных условий. В целом разработанная концепция позволяет улучшить качество управления лицам и организациям, принимающим решения в области водохозяйственного строительства и природообустройства, что в конечном счете повышает безопасность водополь-

зования. Ряд положений концепции внедрен в практику водохозяйственного проектирования и эксплуатации водохранилищ, а также используется в вузах при преподавании курсов гидрологических и водохозяйственных расчетов и мелиорации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водные ресурсы России и их использование / И. А. Шикломанов [и др.] // Труды ГГИ. – СПб., 2008. – 598 с.
2. Данилов-Данильян В. И. Управление водными ресурсами в условиях климатических изменений / В. И. Данилов-Данильян, В. Г. Пряжинская // Обоснование стратегий управления водными ресурсами. – М. : Науч. мир, 2006. – С. 97-122.
3. Данилов-Данильян В. И. Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования / В. И. Данилов-Данильян, И. Л. Хранович. – М. : Науч. мир, 2010. – 229 с.
4. Добровольский С. Г. Глобальные изменения речного стока / С. Г. Добровольский. – М. : ГЕОС, 2011. – 659 с.
5. Красов В. Д. К методике анализа однородности гидрологических рядов / В. Д. Красов // Водные ресурсы. – 1986. – № 1. – С. 24-29.
6. Красов В. Д. К методике выбора репрезентативного периода при расчетах годового стока / В. Д. Красов // Водные ресурсы. – 1983. – № 5. – С. 167-169.
7. Красов В. Д. Нестационарность в сложных водохозяйственных системах (на примере Или-Балхашской системы) / В. Д. Красов // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – Воронеж, 2011. – № 2. – С. 148-153.
8. Красов В. Д. Оценка водообеспеченности территории на основе водохозяйственного баланса / В. Д. Красов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – Воронеж, 2011. – Вып. 4 (31). – С. 246-250.
9. Красов В. Д. Оценка выборочных характеристик модифицированных последовательностей годового стока / В. Д. Красов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – Воронеж, 2011. – Вып. 3 (30). – С. 173-181.
10. Красов В. Д. Оценка параметров и квантилей речного стока в условиях существенной внутригодовой трансформации / В. Д. Красов // Водное хозяйство России. – Екатеринбург, 2012. – № 5. – С. 4-17.
11. Красов В. Д. Оценка репрезентативности периода для определения характеристик речного стока / В. Д. Красов // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – Воронеж, 2008. – № 2. – С. 133-141.
12. Красов В. Д. Оценка чувствительности критериев однородности методом модификации гидрологических последовательностей / В. Д. Красов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – Воронеж, 2011. – Т. 7, № 9. – С. 126-129.
13. Красов В. Д. Прогноз режима Капчагайского водохранилища с учетом изменения водного баланса и уровня оз. Балхаш / В. Д. Красов // Труды ГГИ. – Л., 1974. – Вып. 220. – С. 17-32.
14. Красов В. Д. Расчет режима Или-Балхашской водной системы на перспективу / В. Д. Красов // Труды 4-го всесоюзного гидрологического съезда. – Л., 1975. – Т. 5: Гидрология озер, водохранилищ и устьев рек. – С. 87-97.
15. Красов В. Д. Стратегия управления водными ресурсами в условиях антропогенных изменений речного стока / В. Д. Красов // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – Воронеж, 2009. – № 1. – С. 13-22.
16. Красов В. Д. Трансформация гидрологических параметров под воздействием крупномасштабных изъятий стока / В. Д. Красов // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – Воронеж, 2008. – № 1. – С. 116-120.
17. Красов В. Д. Управление режимом водохранилищ многолетнего регулирования в период первоначального наполнения / В. Д. Красов // Гидротехническое строительство. – 2010. – № 12. – С. 23-27.
18. Крицкий С. Н. Гидрологические основы управления водохозяйственными системами / С. Н. Крицкий, М. Ф. Менкель. – М. : Наука, 1982. – 271 с.
19. Раткович Д. Я. Многолетние колебания речного стока. Закономерности и регулирование / Д. Я. Раткович. – Л. : Гидрометеиздат, 1976. – 255 с.

Красов Вячеслав Дмитриевич  
кандидат технических наук, доцент кафедры природопользования Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. (473) 266-56-54, E-mail: [v\\_d\\_krasov@mail.ru](mailto:v_d_krasov@mail.ru)

Krasov Vyacheslav Dmitriyevitch  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair of management of nature, Voronezh State University, Voronezh, tel. (473) 266-56-54, E-mail: [v\\_d\\_krasov@mail.ru](mailto:v_d_krasov@mail.ru)