

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ЗАРЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА МАЛЫХ РЕК БАСЕЙНА р. УРАЛ ВОДОХРАНИЛИЩАМИ С УЧЕТОМ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ¹

© 2024 г. А. М. Гареев*, В. С. Горячев

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, 450074 Россия

*e-mail: aufar.gareev@mail.ru

Поступила в редакцию 26.02.2024 г.

После доработки 10.04.2024 г.

Принята к публикации 18.04.2024 г.

Раскрыты основные положения оптимального зарегулирования стока малых рек водохранилищами. В качестве новых методических подходов приняты положения, учитывающие необходимость дифференцированного анализа физико-географических условий территорий, где расположены бассейны изучаемых рек. Это имеет наибольшую значимость в условиях формирования регионального отклика на глобальное потепление климата с совокупностью неблагоприятных хозяйственно-экономических и экологических последствий. В качестве методологической основы приняты геосистемный подход и бассейновый принцип, позволяющие всесторонне учитывать особенности влияния естественных и антропогенных факторов на формирование изменчивости количественных, качественных характеристик воды в водотоках и экологических условий в них. Методы исследования следующие: физико-географическое районирование бассейна р. Урал в пределах Российской Федерации, статистический и графический анализ материалов многолетних гидрометеорологических наблюдений, картографии и др. В результате проведенного исследования обоснованы и предложены методические положения по оптимальному зарегулированию стока малых рек бассейна р. Урал водохранилищами в пределах Российской Федерации с учетом эколого-экономических критериев. Они входят в состав обширного перечня предложений, направленных на гидролого-экологическое восстановление малых рек.

Ключевые слова: бассейн, река, Урал, районирование, водохранилище, зарегулирование, изменение, экологические, экономические, критерии.

DOI: 10.31857/S0321059624050102 EDN: VXEAIP

ВВЕДЕНИЕ

Методические положения определения оптимального количества, объемов прудов и водохранилищ в бассейнах малых рек с учетом их нормального функционирования в условиях маловодий и обеспечения нормативной водности в нижних звеньях гидрографической сети по бассейну р. Урал в пределах Российской Федерации

разработаны в рамках научно-исследовательской работы, выполненной в 2023 г. В качестве основополагающих нормативных, правовых и иных документов приняты природоохранные и водные законы РФ [2, 8–10, 13]. Требования к определению оптимального количества и объемов прудов и водохранилищ в бассейнах малых рек учитывают следующее:

1) обеспечение устойчивого функционирования естественных или сложившихся экологических систем, сохранение биологического разнообразия в малых реках и предотвращение негативных последствий создания прудов и водохранилищ в условиях изменения климата [12];

2) сохранение или улучшение состояния экологической системы в пределах водных объектов или их участков;

¹ Работа выполнена в рамках научно-исследовательской работы, заключенной между Институтом водных проблем РАН и Уфимским университетом науки и технологий Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Государственного контракта на выполнение прикладных научных исследований по теме “Экологическая оценка последствий регулирования стока в трансграничном бассейне трансграничной реки Урал (Жайык) и разработка научно-обоснованных предложений по экологической реабилитации, сохранению и восстановлению трансграничной реки Урал (Жайык)”, подписанного 30.03.2022.

3) сведение к минимуму риска необратимых негативных изменений в экологической системе водного объекта вследствие антропогенных воздействий;

4) обеспечение устойчивого и безопасного водопользования в процессе социально-экономического развития территории.

В соответствии с указанными положениями рекомендовано определение оптимального количества, объемов прудов и водохранилищ в бассейнах малых рек с учетом их нормального функционирования в условиях маловодий на основе применения целевых функций, учитывающих выделение минимума приведенных затрат и максимума экологической эффективности. Их рекомендуется применять при обосновании и проведении мероприятий по проектированию, строительству и эксплуатации прудов и водохранилищ с учетом различий физико-географических условий в пределах бассейна р. Урал [3, 7].

После утверждения в установленном порядке представленные методические положения могут быть использованы в связи со следующими действиями:

1) корректировкой схем комплексного использования и охраны водных объектов, водохозяйственных балансов; планированием водохозяйственных и водоохраных мероприятий по бассейнам малых рек;

2) государственным контролем и надзором за использованием и охраной водных объектов;

3) оценкой воздействия на окружающую среду (ОВОС) при разработке предпроектной и проектной документации на строительство прудов и водохранилищ на малых реках;

4) размещением, проектированием, строительством и реконструкцией прудов и водохранилищ, оказывающих влияние на состояние водных объектов и их экосистем;

5) решением других вопросов в области использования и охраны малых рек, а также необходимостью межгосударственного согласования принципов управления водопользованием и водоохраными мероприятиями в бассейне трансграничной р. Урал (Жайык) между Российской Федерацией и Казахстаном.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве исходной информации использованы: физико-географическое районирование бассейна р. Урал в пределах Российской Федерации, материалы многолетних гидрометеорологических наблюдений по станциям и постам Росгидромета, а также статистические материалы организаций и ведомств, специализирующихся в области управления водопользованием и охраной водных ресурсов в пределах изучаемой территории. Кроме того, использованы также материалы собственных изысканий и наблюдений, полученные в ходе исследования, проведенного в 2023 г., а также материалы предшествующих многолетних полевых изысканий и наблюдений (гранты РФФИ, Государственные задания Республики Башкортостан и др.).

На основе их анализа выявлено то, что в течение последних десятилетий — с 2000-х гг. по настоящее время — сформировалась довольно напряженная водохозяйственная и гидролого-экологическая обстановка в условиях влияния маловодной фазы, с одной стороны, и регионального отклика глобального потепления климата — с другой.

В соответствии с методическими положениями, оптимальные параметры размещения прудов и водохранилищ устанавливаются на основании оценки состояния водного объекта (малой реки) и его экологической системы с учетом необходимости сохранения и воспроизводства ихтиофауны, занимающей верхнюю иерархическую ступень в пищевой цепи гидробионтов в водном объекте, которые отражены в Водном кодексе Российской Федерации [2] и Федеральном законе “Об охране окружающей среды” [13].

Методические положения учитывают следующие виды воздействий:

1) изменение гидрологического режима малых рек, их морфометрических характеристик при строительстве и эксплуатации прудов и водохранилищ;

2) трансформацию экологических условий в водном объекте в связи с переходом речного режима в озерный;

3) изменение экологических условий в водных объектах и паводково-пойменных комплексах, выполняющих важную роль в сохранении и воспроизводстве ихтиофауны;

4) забор (изъятие) и количественное истощение водных ресурсов;

5) дополнительные потери водных ресурсов в результате испарения с поверхности прудов и водохранилищ.

Таким образом, методические положения включают следующие показатели: безвозвратное изъятие воды за определенный временной период (год, сезоны, месяцы) для наиболее критических условий по водности (95%-й обеспеченности); потери воды на дополнительное испарение с поверхности прудов и водохранилищ в условиях изменения климата; обеспечение экологического стока (ЭС) (попусков) с учетом нормального функционирования прудов и водохранилищ в условиях маловодий и обеспечения нормативной водности в нижних звеньях гидрографической сети по бассейну р. Урал в пределах Российской Федерации.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Многообразие путей реализации экономических решений, а также разница объемов капиталовложений и эксплуатационных затрат на водоохранные сооружения обуславливают необходимость выбора оптимального варианта осуществления водоохранной деятельности. Таким образом, комплекс исследовательских, изыскательских, проектных и планируемых мероприятий должен отражать взаимодействие естественных и антропогенных факторов, изучаемых на стыке географических, экологических и экономических дисциплин. Физико-географические основы указанного комплекса отражают количественные и качественные характеристики воды водных объектов, формирование потребностей отраслей народного хозяйства в водоснабжении в зависимости от природных зон, районов и экологических условий в аквальных комплексах [3].

Остановившись на анализе научно-методических подходов к обоснованию нормативов воздействия на водные объекты, кроме [8], следует привести и работы [4–6]. В них в качестве основ-

ных приняты положения, отражающие необходимость выполнения расчетов лимитирующих составляющих речного стока, включая показатели среднегодовых расходов (объемов) воды разной обеспеченности, внутригодовое распределение речного стока в годы 95%-й обеспеченности по участку расположения пруда или водохранилища, экологических расходов (объемов) воды (попусков), критических расходов (объемов) воды, а также объемов допустимых безвозвратных изъятий воды в бассейне малой реки и др. В качестве методологической основы нормирования безвозвратного изъятия речного стока, установления ЭС и экологического попуска (ЭП) принимается принцип устойчивого функционирования экологических систем водных объектов и околотоводных экологических систем, сохранение условий естественного размножения организмов. С учетом изложенного в качестве экологических критериев, которые учитываются и используются при обосновании оптимальных параметров прудов и водохранилищ, мест их расположения, а также ЭП, ЭС и в оценке степени нарушенности экологических систем, приняты следующие:

- условия естественного размножения ихтиофауны в системе русло–пойма и пойменной растительности;

- уровень биологической продуктивности экологических систем;

- структура сообщества рыб, в том числе соотношение ценных и малоценных видов рыб, темпы их роста;

- видовое разнообразие организмов, смена сообществ животных и растений;

- состояние русла реки, поймы и др.

В них приведены также основные величины морфометрических и гидрологических показателей водотоков, площади затопления поймы; характеристики водного режима, русловых и пойменных нерестилищ (скорость течения, глубина, температура и др.); уровенный режим, соленость воды, площади нагула молоди и взрослых особей рыб; видовой состав, численность и биомасса планктонных и донных организмов, динамика численности популяций рыб, характеристики численности молоди конкретного года рождения (“урожайность” поколения), промысловый возврат (величина вылова рыб одного поколения в течение всего жизненного цикла), запасы и уловы промысловых рыб.

Одно из необходимых условий выполнения расчетов с учетом показателей количественного истощения (изъятия) — определение так называемых критических расходов $Q_{кр}$ и объемов воды $W_{кр}$ в водотоке. Кроме того, методика расчетов учитывает необходимость определения таких показателей, как исторические минимальные расходы $Q_{ист}$ и объемы $W_{ист}$ воды, объем допустимого безвозвратного изъятия $W_{ди}$ за год и отдельные периоды, которые выражаются так:

$$W_{ди} = W_{кр} - W_{ист}. \quad (1)$$

При этом $W_{ди}$ принимается постоянным для разной водности с объемом стока выше базового. В свою очередь, минимальный сток базового года W_6 , с которого можно начинать изъятие речного стока в количестве $W_{ди}$, рекомендуется рассчитывать по формуле

$$W_6 = W_{кр} + W_{ди}. \quad (2)$$

В качестве расчетных принимаются расходы воды в годы 95%-й обеспеченности, критических — 97%-й обеспеченности и исторических — 99%-й обеспеченности. В свою очередь, экологический сток учитывает распределение речного стока в годы 95%-й обеспеченности внутри года по месяцам, обеспечивая условия обитания и воспроизводства ихтиофауны в пределах расчетного участка реки.

Как показано выше, в качестве основных недостатков, имеющих в работах [4–6, 8], следует привести то, что в них не учтена пространственная дифференциация основных физико-географических условий (географического положения, орографии местности и др.), которые должны быть применены при обосновании оптимальных параметров гидротехнических сооружений.

Исходя из изложенного в данной, работе установлено положение, отражающее то, что эко-

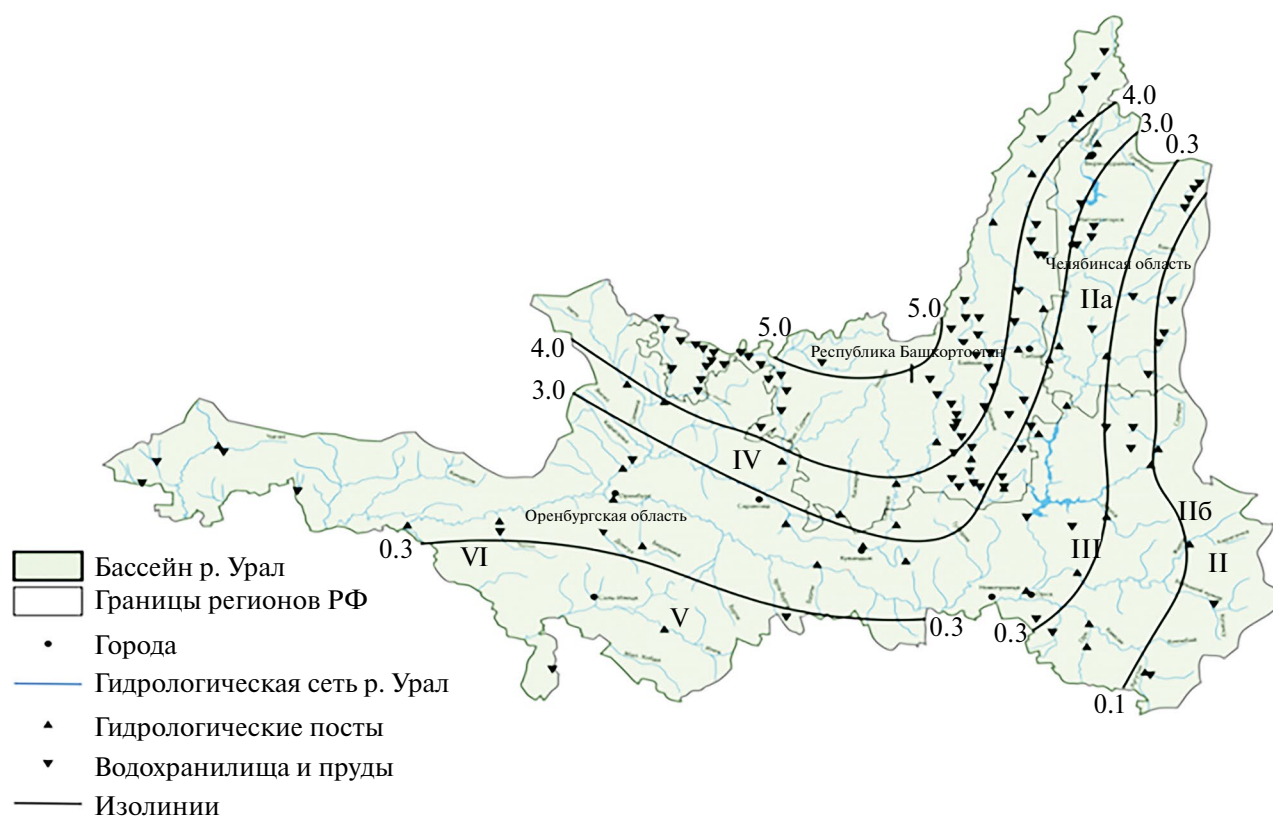


Рис. 1. Изолинии модулей стока среднегодовых расходов воды малых рек в годы 95%-й обеспеченности.

номические и экологические параметры функционирования как существующих, так и новых прудов и водохранилищ (если в их строительстве имеется объективная необходимость) должны учитывать следующее. Одно из основных требований — обоснование необходимого объема водохранилища, места его расположения с учетом привлечения минимальных приведенных затрат на его строительство и эксплуатацию в соответствии с требованиями целевых функций. Таким образом, подбор вида, конструкций и технического решения задачи должен проводиться на основе сравнительного подхода по двум или более независимым вариантам. Уравнение водохозяйственного баланса по створу расположения рекомендуемого водохранилища (пруда) должно учитывать: в приходной части — объем речного стока, поступающего с вышерасположенного участка W_p , полезный объем водохранилища W_p ; в расходной части — объем испарения воды с поверхности водного зеркала водохранилища W_i , величину безвозвратных изъятий $W_{ди}$, а также транзитный сток W_r , учитывающий объем воды, необходимый для поддержания экологических условий в водотоке ниже водохранилища (экологический попуск — W_y) и объем воды, необходимый для удовлетворения потребностей водопользования хозяйственными объектами и населенными пунктами, расположенными ниже по течению W_n .

Исходя из изложенного, оптимальный полезный объем водохранилища может быть рассчитан по формуле

$$W_p = W_i + W_{ди} + W_y + W_n - W_r. \quad (3)$$

При размещении самого (проектируемого) водохранилища должны учитываться физико-географические условия района, где планируется его строительство, в том числе орографические характеристики участка реки, ее долины, морфометрические параметры проектируемого водоема и др. В районах, характеризующихся большой изменчивостью речного стока в течение года, а также в многолетнем разрезе, предпочтительно строительство одного водохранилища многолетнего регулирования, исходя из необходимости удовлетворения целевым функциям как по экономическим, так и по экологическим параметрам по следующему выражению [3]:



Рис. 2. Районирование бассейна р. Урал по внутригодовому распределению стока [11].

$$\begin{cases} \Pi = I_3 + E_n K_3 \rightarrow \min \\ \Theta_{эф} \rightarrow \max \end{cases}, \quad (4)$$

где Π — приведенные затраты, I_3 — эксплуатационные затраты, K_3 — капитальные затраты, E_n — коэффициент приведения, $\Theta_{эф}$ — показатель экологической эффективности.

Таким образом, задача оптимизации размещения водохранилищ должна решаться с учетом как экономической, так и экологической эффективности проводимых мероприятий.

В бассейнах рек, где условия рельефа (пологого) не позволяют размещать одно водохранилище с большим объемом, можно создать каскад из двух или более водохранилищ. При этом в засушливых районах в степной зоне оптимальное количество водоемов должно определяться с учетом дополнительных потерь воды на испарение с поверхности водоемов, так как в острозасушливые годы значительное количество накопленной в весеннее время воды будет расходоваться с их поверхности на испарение летом.

Эти потери здесь довольно высокие, могут быть сопоставимы с показателями изъятия воды на водопользование в расходной части водохозяйственного баланса.

Характеристики годового стока неизученных малых рек в годы 95%-й обеспеченности ориентировочно могут определяться по рис. 1. Более точные расчеты параметров стока могут быть проведены по аналогии с расчетами по изученным рекам. При этом в качестве аналога принимается изученная река, протекающая в том же физико-географическом районе, что и изучаемая [7]. Показатели внутригодового распределения речного стока в различные по водности годы, в том числе и очень маловодные, в качестве которых приняты показатели стока 95%-й обеспеченности, рекомендуется определять по справочному изданию [11]. Районирование изучаемой территории по внутригодовому распределению речного стока представлено на рис. 2.

Указанные закономерности учтены авторами статьи при составлении картосхемы района бассейна р. Урал (в пределах Российской Федерации) по условиям приоритетного размещения прудов и водохранилищ с учетом физико-географических характеристик и обитания гидробионтов.

С учетом изложенного следует констатировать то, что при проектировании прудов и водохранилищ на малых реках необходимо учитывать биологические особенности обитающих в них рыб. У весенне- и летнерестующих рыб инкубация икры продолжается в среднем до 7, иногда до 12 дней, в зависимости от температуры — чем ниже температура воды, тем больший срок требуется для развития эмбрионов. Повторяемость высоких половодий необходима не меньше, чем 1 раз в 3 года, а лучше 1 раз в 2 года. Весенние попуски воды должны совпадать по времени со сроками естественного половодья, к которым была изначально приспособлена местная ихтиофауна. Особенно это важно для фитофильных рыб, которые в этом случае смогут размножаться в привычных условиях, и нормальное пополнение их популяций новыми поколениями при этом будет обеспечено. Промыслового значения малые реки не имеют. Однако в горно-лесной и горно-лесостепной зо-

нах в силу их труднодоступности и наименьшей степени развития в них антропогенного прессинга они важны как рефугиумы, позволяющие наиболее чувствительным видам сохраняться в этих местообитаниях, а также находить пути миграций. Низкая численность части видов рыб малых рек — следствие не только антропогенного ухудшения экологических условий, но и их собственных биоэкологических характеристик, связанных со стенотермностью, оксифильностью, субстратным консерватизмом.

ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования обоснованы и предложены методические положения по оптимальному регулированию стока малых рек бассейна р. Урал водохранилищами в пределах Российской Федерации с учетом эколого-экономических критериев. Они входят в состав обширного перечня предложений различных мероприятий по гидролого-экологическому восстановлению малых рек. В их числе — обоснование мест расположения, оптимального количества и параметров водохранилищ в бассейнах малых рек с учетом особенностей нормального функционирования в условиях маловодий в нижних звеньях гидрографической сети — оно имеет ведущее значение. Соответственно, указанные методические положения разработаны в целях поддержания поверхностных и подземных вод в состоянии, соответствующем требованиям водного законодательства Российской Федерации, и могут быть применены при решении задач оптимального управления водохозяйственной деятельностью в бассейнах рек с учетом как хозяйственно-экономических, так и экологических критериев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влагозапасы и промерзание почв, испарение с почвы и водной поверхности при региональном изменении климата. Рекомендации по расчету и прогнозу средних многолетних изменений. СПб.: ART-XPRESS, 2015. 41 с.
2. Водный кодекс Российской Федерации. Новосибирск: Сиб. университет. изд-во, 2010. 48 с.
3. Гареев А.М. Оптимизация водоохранных мероприятий в бассейне реки (географо-экологический аспект). СПб.: Гидрометеиздат, 1995. 190 с.
4. Дмитриева В.А. Экологический сток в речных потоках // Регион. системы. 2022. Т. 46. № 3. С. 424–433.

5. Дубинина В.Г., Косолапов А.Е., Коронкевич Н.И. и др. Актуализация методических указаний по нормированию допустимого безвозвратного изъятия речного стока и установлению экологического стока для сохранения водных экосистем // Вод. хоз-во России: проблемы, технологии, управление. 2022. № 2. С. 16 – 26.
6. Дубинина В.Г., Никитина О.И. и др. Методические подходы к определению объемов допустимого безвозвратного изъятия стока из слабоизученных и малоизученных и малых рек // Вод. хоз-во России. 2015. № 4. С. 80–97.
7. Кадильников И.П. Физико-географическое районирование Башкирской АССР. Уфа, 1964. 210 с.
8. Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты. М.: МПР России, 2007. № 328. 38 с.
9. Постановление Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2006 г. № 881 “О порядке утверждения нормативов допустимого воздействия на водные объекты”. Государственный комитет Российской Федерации по рыболовству, Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.
10. Постановление Правительства Российской Федерации от 18 апреля 2014 года о зонах затопления, подтопления. № 360. 7 с. С изменениями 17 августа 2022 г.
11. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 12. Вып. 2. Урало-Эмбинский район. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 512 с.
12. Фащевский Б.В. Основы экологической гидрологии. Минск: Экоинвест, 1996. 240 с.
13. Федеральный закон “Об охране окружающей среды” от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. 2002. № 2. Ст. 133; 2004. № 35. Ст. 3607; 2005. № 1. Ст. 25; № 19. Ст. 1752; 2006. № 1. Ст. 10; № 52. Ст. 5498; 2007. № 7. Ст. 834; № 27. Ст. 3213.

METHODOLOGICAL PROVISIONS OF OPTIMAL REGULATION OF THE FLOW OF SMALL RIVERS OF THE URAL RIVER BASIN BY RESERVOIRS, TAKING INTO ACCOUNT ECOLOGICAL AND ECONOMIC CRITERIA

A. M. Gareev*, V. S. Goryachev

Ufa University of Science and Technology, Ufa, 450074 Russian Federation

**e-mail: aufar.gareev@mail.ru*

Based on the analysis of the currently existing provisions applied in the management of water use in the river basins of the Russian Federation, taking into account the artificial regulation of river flow by reservoirs, it can be revealed that there are some flaws in them. For example, the guiding documents, including the “Methodological guidelines for the development of standards for permissible impacts on water bodies” the main characteristics of river basins that affect the conditions for the formation of river flow, the ecological and economic characteristics of the location and operation of reservoirs on small rivers, as well as indicators of the formation of additional water losses resources from their surface as a result of evaporation are not fully taken into account. This is primarily related to the basins of small rivers located in arid areas, which include the watercourses of the Ural River basin within its middle and lower parts. Taking into account the above, methodological provisions are proposed that, when designing and constructing reservoirs, provide for the need for a differentiated analysis of the physical and geographical conditions (geographical location, orography, water balance and other characteristics) of the territories where the basins of the studied rivers are located. This is of the greatest importance in the context of the formation of a regional response to global climate warming with the emergence of a set of adverse economic and environmental consequences.

The geosystem approach and the basin principle have been adopted as a methodological basis, which make it possible to comprehensively take into account the peculiarities of the influence of a combination of natural and anthropogenic factors on the formation of variability in quantitative and qualitative characteristics of watercourses and environmental conditions in them. The research methods include: physical and geographical zoning of the Ural River basin within the Russian Federation, statistical and graphical analysis of materials from long-term hydrometeorological observations, analogies, cartography, etc.

As a result of the conducted research, methodological provisions on optimal regulation of the flow of small rivers of the Ural River basin by reservoirs within the Russian Federation, taking into account ecological and economic criteria, are substantiated and proposed. They are part of an extensive list of proposals aimed at the hydrological and ecological restoration of small rivers, taking into account the need for various activities. In particular, the need to determine the optimal number and volume of small ponds and reservoirs in the basins of small rivers, taking into account their normal functioning in low-water conditions and ensuring regulatory water content in the lower links of the hydrographic network along the Ural River basin within the Russian Federation is of leading importance. Accordingly, these methodological provisions have been developed in order to maintain surface and groundwater in a condition that meets the requirements of the water legislation of the Russian Federation.

Keywords: basin, river, Urals, zoning, reservoir, overregulation, change, environmental, economic, criteria.