

УДК 504.062

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОБЪЕМОВ ДОПУСТИМОГО БЕЗВОЗВРАТНОГО ИЗЪЯТИЯ СТОКА ИЗ СЛАБОИЗУЧЕННЫХ, НЕИЗУЧЕННЫХ И МАЛЫХ РЕК

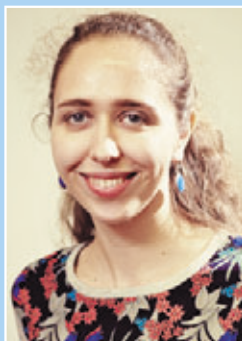
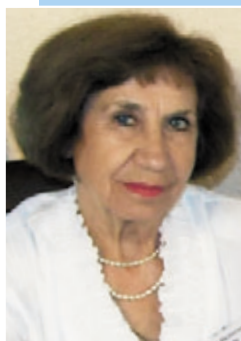
© 2015 г. В.Г. Дубинина<sup>1</sup>, О.И. Никитина<sup>2</sup>, М.Л. Марков<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Центральное Управление по рыбохозяйственной экспертизе и нормативам по сохранению, воспроизводству водных биологических ресурсов и акклиматизации» «ЦУРЭН», Москва

<sup>2</sup> Всемирный фонд дикой природы (WWF России), Москва

<sup>3</sup> ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Санкт-Петербург

**Ключевые слова:** допустимое безвозвратное изъятие стока, критический сток, экологический сток.



В.Г. Дубинина

О.И. Никитина

М.Л. Марков

В статье представлены методические подходы нормирования допустимого безвозвратного изъятия стока поверхностных вод для слабоизученных и неизученных рек, рассматриваются особенности изъятия стока из малых рек.

Основные направления деятельности по развитию водохозяйственного комплекса России, определяемые Водной стратегией Российской Федерации на период до 2020 года [1], нацелены на гарантированное обеспечение потребности в водных ресурсах при улучшении состояния водных объектов и их экосистем, а также обеспечение безопасности жизнедеятельности населения и функционирования объектов экономики. В целях максимально эффективного использования потенциала водных ресурсов необходимо обеспечить скоординированное развитие отраслей экономики на основе учета водоресурсных ограничений и допустимой экологической нагрузки

на водные объекты. Существуют различные подходы к решению этой проблемы, отраженные в многочисленных научных публикациях. Но в основном водном законодательном акте – Водном кодексе Российской Федерации [2] – до сих пор не установлены требования к охране водных объектов от истощения их ресурсов.

В результате отсутствия правового регулирования допустимого безвозвратного изъятия стока в ряде регионов России с напряженным водохозяйственным балансом нарушена устойчивость водных экосистем. Особенно страдают от антропогенного изменения условий формирования стока малые водные объекты. В целях решения задач Водной стратегии Российской Федерации по совершенствованию государственного управления в области использования и охраны водных объектов целесообразно внести дополнения в Водный кодекс, указывающие на необходимость определения объема допустимого безвозвратного изъятия стока поверхностных вод и экологического стока (попуска).

Устойчивое функционирование водных и околотоводных экологических систем характеризуется уровнем биологической продуктивности. Оптимальная связь гидрологического режима рек с продуктивностью экологических систем устанавливается десятилетиями, сотнями лет. Внутригодовой ход водного, температурного, ледового и гидрохимического режима рек создают условия существования водных и околотоводных экосистем, сообществ животных и растений. Эти сообщества могут существовать в определенном диапазоне внутригодового и многолетнего изменения гидрологических характеристик, не выходящих за пределы естественных сезонных многолетних колебаний. Если изменения гидрологического режима превышают предельно допустимые величины, могут произойти необратимые процессы в экологических системах и их переход в иное состояние. Определение этих пределов (в части водного режима) лежит в основе установления параметров допустимого антропогенного снижения естественного стока, критических для воспроизводства организмов и функционирования экосистемы.

#### **МИРОВАЯ ПРАКТИКА И МЕТОДОЛОГИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТОКА**

Широко применяемое международное определение экологического стока (environmental flow) приведено в Брисбенской декларации, принятой по итогам X Международного речного симпозиума и Международной конференции по вопросам экологического стока, которые состоялись в г. Брисбен, Австралия, 3–6 сентября 2007 г. Экологический сток определяет количественные, качественные и временные характеристики речного стока, необходимые для поддержания функционирования пресноводных экосистем, обеспечения условий для благополучного проживания населения, которое зависит от состояния этих экосистем [3].

Экологический сток – это часть естественного стока, которая должна оставаться в реке в результате безвозвратного изъятия водных ресурсов или регулирования водного режима ниже по течению от места воздействия на реку для обеспечения устойчивых условий развития и функционирования пресноводной экосистемы. Подразумевается, что экологический сток должен основываться на естественном состоянии речной экосистемы и быть приближенным к естественному режиму стока.

С 1970-х гг. специалисты по охране окружающей среды, такие как Д.А. Теннант (США) и другие, начали обосновывать преимущества устойчивого использования водных ресурсов, при котором в реке с учетом изъятия воды остается необходимый для поддержания речной экосистемы объем. С начала 1980-х гг. научное направление и практика экологического стока становятся важными аспектами в управлении речными ресурсами во многих странах мира — в особенности в регионах, где дефицит водных ресурсов вынуждает водопользователей изымать недопустимо большое количество воды.

США, Австралия, ЮАР, Кения, Танзания, Зимбабве – страны, в которых водное законодательство указывает на необходимость применения экологического стока. Китай, Индия, Пакистан, Вьетнам, Камбоджа, Таиланд, Мексика, Бразилия и Турция в настоящее время осуществляют проекты по определению требований экологического стока для основных рек. Страны-члены Европейского Союза обязаны следовать Водной рамочной директиве, которая требует обеспечения необходимой величины стока в реках для поддержания статуса «хорошее состояние» [4].

Существует около 200 методов определения величины экологического стока. Большое количество способов объясняется тем, что в ряде стран (прежде всего Австралия, США и страны Европейского Союза) активно применяется практика экологического стока.

Часть методов экспресс-моделирования экологического стока основывается на имеющихся данных и не требует дополнительной работы. Другие методы требуют полевых исследований, участия специалистов разных дисциплин – гидрологов, гидробиологов, ихтиологов, экологов и т. д. Выбор метода определяется срочностью работы, доступными для анализа ресурсами, важностью речной системы для хозяйственной деятельности и сохранения биоразнообразия, трудностью определения и дальнейшего внедрения экологического стока на водном объекте. При обобщении международных способов определения экологического стока их можно разделить на следующие группы методов:

- гидрологических обоснований;
- выявления функциональных связей;
- гидравлической оценки;

- моделирования среды обитания;
- комплексной методологии.

Ниже приведено краткое описание каждой группы методов [5].

### **Методы гидрологических обоснований (Hydrology-based Assessment)**

Эти методы подразумевают использование гидрологических показателей, основанных на статистических свойствах режима естественного стока, и наиболее распространены при определении экологического стока на малоизученных реках. Экологический сток рассчитывается как доля от среднегодового стока реки или среднемесячных расходов. Могут использоваться как фактические, так и смоделированные показатели. Подход основан на допущении, что поддержание определенной доли естественного стока сможет удовлетворить экологические потребности. Показатели, основанные исключительно на гидрологических данных, легче повторно калибруются для любого региона, но могут быть не обоснованы с экологической точки зрения, т. е. с позиции сохранения пресноводных экосистем. Показатели, учитывающие помимо гидрологических параметров и характеристики экологического состояния, имеют большее основание для определения величины экологического стока, однако сбор этих данных требует значительных временных и финансовых затрат. К этим методам относится анализ документации и использование систематизированных табличных данных.

Способы анализа табличных данных подразделяются по используемой информации: основанные исключительно на гидрологических данных; использующие гидравлическую информацию; экологические данные. Этот подход основан на применении фактического материала – данных о речном стоке, полученных на гидрометрических станциях и/или данных о состоянии рыбных сообществ, других экологических данных, полученных в полевых исследованиях.

Основной принцип гидрологических табличных методов – поддержание сезонной изменчивости стока. Примером является метод Рихтера. Метод определяет компоненты режима естественного стока, индексированного объемом стока (как при паводковом, так и при меженном периоде), расчетом времени (индексированного ежемесячной статистикой – продолжительность маловодного периода, скорости роста и спада половодья и др.), частотой и длительностью определенного периода водности. Для определения экологического стока методом гидравлических данных используют значения различных гидравлических характеристик, таких как смоченный периметр, площадь русла и поймы.

### **Методы выявления функциональных связей (Functional Analysis)**

Методы выявления функциональных связей основаны на определении связей между гидрологическими и экологическими факторами состояния

речной экосистемы. Известным примером этих методов является так называемая «методология построения блоков» (Building Block Methodology), разработанная в Южной Африке. Основой метода является то, что в речном режиме выделяются некоторые основные элементы (блоки), включающие характеристики меженного и многоводного периодов, которые поддерживают динамику стока наносов и русловые процессы в бассейне. Допустимый режим стока для поддержания экосистем определяется с учетом этих блоков.

#### **Методы гидравлической оценки (Hydraulic Rating Methods)**

Эти методы основываются на сведениях об исторических экстремумах стока или на его значениях, критических для биотопов. Строится зависимость качества среды обитания биотопов от гидравлических параметров (таких как смоченный периметр, скорость течения). Значение экологического стока представляется либо в виде расхода оптимального минимального стока, либо как фиксированный процент стока, ниже которого условия среды обитания ухудшаются.

#### **Моделирование среды обитания (Habitat Simulation Methodologies)**

Эти методы основываются на моделировании связи между расходами воды и подходящими условиями для среды обитания организмов. Условия обитания непосредственно определяют требования к экологическому стоку. Экологический сток представляется как кривые зависимости среды обитания от расходов воды. Наиболее известный пример применения моделирования среды обитания – метод PHABSIM. Для установления зависимости между изменениями режима стока и реакцией различных организмов разработан подход, использующий данные по среде обитания, с помощью которых определяется потребность организмов в определенном количестве воды. Взаимосвязи между стоком, средой обитания и организмами могут быть описаны связями физических свойств реки, например, глубиной и скоростью течения, с физическими условиями, которые необходимы для стабильного функционирования экосистемы. После определения этих взаимосвязей моделируется экологический сток. Таким образом по заданному значению стока моделируются соответствующие ему изменения водных экосистем.

#### **Комплексная методология (Holistic Methodologies)**

Методология включает гидрологические, гидравлические методы, а также применение методов моделирования среды обитания гидробионтов. Эта методология учитывает целостный экосистемный подход при определении величины экологического стока.

Все вышеперечисленные подходы направлены на определение количественных характеристик водного потока, необходимого для стабильного функционирования пресноводной экосистемы.

## ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОБЪЕМА ДОПУСТИМОГО БЕЗВОЗВРАТНОГО ИЗЪЯТИЯ СТОКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

В СССР проблема нормирования изъятия речного стока возникла в 1960–1970 гг. в связи с активным развитием крупномасштабных работ по водной мелиорации [6]. Научное обоснование и результаты разработок по методическим подходам решения задачи определения объема безвозвратного изъятия речного стока и установления экологического стока (попуска) в России изложены в ряде работ В.Г. Дубининой и др. [6–10].

Под допустимым безвозвратным изъятием речного стока ( $W_{\text{ду}}$ ) понимается максимальный объем воды, безвозвратно изымаемый из реки (речно-го бассейна), при котором сохраняются условия устойчивого и безопасного функционирования водных и околородных экосистем (или их отдельных компонентов).

Экологический сток ( $W_{\text{эс}}$ ) – сток на незарегулированных участках рек при допустимом безвозвратном изъятии речного стока. Для рек с зарегулированным стоком устанавливается научно обоснованный объем экологического попуска ( $W_{\text{эн}}$ ).

Методический подход установления объема допустимого безвозвратного изъятия поверхностных вод базируется на определении критериев и показателей, обеспечивающих сохранение такого экологически устойчивого состояния водной экосистемы, при котором не нарушается ее восстановительный потенциал. Водный объект рассматривается как единая геобиологическая система, устойчивость функционирования которой определяется сложившимся балансом всех ее компонентов. Расчетная величина допустимого безвозвратного изъятия речного стока должна обеспечить сохранение внутригодовых колебаний стока, максимально приближенных к естественным условиям и не выходящих за пределы естественных многолетних колебаний.

Определение допустимого безвозвратного изъятия речного стока основывается на установлении гидрологических условий, критических для функционирования экосистемы и воспроизводства ее живых организмов, при которых катастрофически ухудшается воспроизводство гидробионтов и водной флоры. Критические гидрологические условия наблюдаются, как правило, в маловодные годы.

Определение величины допустимого безвозвратного изъятия стока, критического стока, экологического стока для лет разной обеспеченности проводится по разработанной схеме [9, 10].

### Схема определения критического стока и объема допустимого безвозвратного изъятия стока поверхностных вод из слабоизученных и неизученных водотоков

Большие реки чаще всего характеризуются достаточной степенью гидрологической изученности. К слабоизученным и неизученным водотокам, как правило, относятся средние и малые реки. Для определения характеристик их стока используется метод аналогии [11–12].

Согласно разработанной методологии [7, 9, 10], для определения критических объемов (расходов) воды ( $W_{кр}$ ) применяются две группы методов. При наличии многолетних данных наблюдений за гидрологическим режимом и биопродуктивностью водных экосистем применяются методы, основанные на связи биологических и гидрологических характеристик состояния экосистемы. При отсутствии многолетних данных и надежных связей, характеризующих влияние гидрологического режима на состояние экосистем, методы критических гидроэкологических параметров. В качестве показателей этого состояния применяются косвенные характеристики: объем годового стока, расход и скорость течения воды, обводнение поймы, уровень и соленость воды, сохранение условий естественного размножения рыб и др. Для определения критического стока слабоизученных и неизученных водотоков следует использовать метод критических гидроэкологических параметров, основываясь на величине годового стока как характеристике, возможной для определения при использовании географической аналогии.

Принимая во внимание схожесть физико-географических характеристик формирования стока и общность условий, определяющих экологическое состояние водных объектов, предполагается, что норма стока и величина критического стока в бассейне неизученной реки подобны норме стока и критическому стоку изученной реки-аналога. Исходя из этого допущения, величина критического стока неизученной реки определяется по формуле:

$$W_{кр\ x} = a_{кр} \cdot W_x, \quad (1)$$

где  $W_{кр\ x}$  – критический сток в бассейне неизученной реки;

$a_{кр}$  – коэффициент приведения критического стока;

$W_x$  – средний многолетний сток неизученной реки.

Коэффициент приведения критического стока определяется по уравнению:

$$a_{кр} = W_{кр\ ан} / W_{ан}, \quad (2)$$

где  $a_{кр}$  – коэффициент приведения критического стока;

$W_{кр\ ан}$  – критический сток в бассейне изученной реки-аналога;

$W_{ан}$  – среднемноголетний сток реки-аналога.

В аналогичной последовательности определяется величина исторического стока неизученной реки  $W_{ист x}$ :

$$W_{ист x} = b_{ист} \cdot W_x, \quad (3)$$

$$b_{ист} = W_{ист ан} / W_{ан}, \quad (4)$$

где  $W_{ист x}$  – исторический сток в бассейне неизученной реки;

$b_{ист}$  – коэффициент приведения исторического стока;

$W_x$  – среднееголетний сток неизученной реки;

$W_{ист ан}$  – исторический сток в бассейне изученной реки-аналога (годовой сток 99 % обеспеченности);

$W_{ан}$  – среднееголетний сток реки-аналога.

Дальнейшее определение объема допустимого безвозвратного изъятия и экологического стока осуществляется по принятой схеме. Внутригодовое распределение допустимого изъятия рассчитывается подобно распределению безвозвратно изымаемого стока из бассейна реки-аналога.

#### **Особенности определения критического стока и объема допустимого безвозвратного изъятия стока поверхностных вод из малых водотоков**

Определение объема допустимого безвозвратного изъятия стока из бассейна малых рек характеризуется значительными особенностями. Малые реки – верхние звенья речных систем – являются самым распространенным и многочисленным видом водных объектов. Состав и качество воды, особенности биоценозов средних и крупных рек зависят от экологического состояния малых рек, входящих в их речную систему [13]. Существует ряд классификаций, выделяющих малые реки. В соответствии с ГОСТ 19179-73 [14], малая река – это река, бассейн которой располагается в одной географической зоне, гидрологический режим которой под влиянием местных факторов может быть не свойственным для рек этой зоны. К категории малых рек относятся реки, имеющие бассейн площадью не более 2000 км<sup>2</sup>. Также существует определение малых рек согласно длине водотока: в «Ресурсах поверхностных вод СССР» [15] малые реки имеют длину менее 100 км вне зависимости от площади бассейна. Согласно [16], малой рекой можно считать интуитивно выделяемый этносом территории водный объект длиной 10–200 км и площадью водосбора 10–10 000 км<sup>2</sup> с особым характером гидрологических процессов, отражающим преимущественное воздействие местных факторов на формирование стока. Четкой границы между средними и малыми реками, малыми реками и ручьем не существует.

Гидрологический режим малых рек часто азонален. На водный режим малых рек и временно действующих водотоков, кроме зональных



климатических факторов, большое влияние оказывают и другие физико-географические факторы. Гидрологический режим малой реки может серьезно трансформироваться под влиянием местных условий, таких как карст, залесенность, распаханность водосбора, гидрогеологические условия, урбанизация и др. Малые реки в общем случае имеют меньшую естественную зарегулированность стока, чем средние и большие, и потому обладают большей изменчивостью стока как в многолетнем, так и внутригодовом разрезе. С уменьшением размера реки, как правило, возрастает внутригодовая неравномерность стока [17].

Малые реки играют природообразующую и экологическую роль, поскольку являются компонентом географического ландшафта, начальным звеном речной сети. Изменения в их водном режиме и качестве воды оказывают существенное влияние на всю речную сеть. Малые реки крайне зависимы от процессов, происходящих на их водосборе, в том числе и от антропогенного воздействия [13]. Эти факторы приводят к необходимости изучения водных ресурсов малых рек и временных водотоков и разработки методики гидрологических расчетов применительно к малым водотокам.

Проблема нормирования безвозвратного изъятия стока – одна из важнейших при использовании водных ресурсов малых рек, поскольку от ее решения зависит сохранение экосистемы водного объекта и гарантированная отдача водохозяйственной системы. Определение величины стока, критического стока и объема допустимого безвозвратного изъятия в бассейнах малых рек затруднено их аazonальностью, трудностью подбора аналога, особенностями водного режима.

Гидрологические наблюдения на большинстве малых рек России отсутствуют или ведутся несистематично, отчего возникает проблема с качественными рядами данных.

Определение годового стока малых рек при отсутствии данных наблюдений выполняется по методикам [18]. К основным из них относятся следующие методы:

- гидрологической аналогии;
- осреднения в однородном районе;
- построения региональных зависимостей стоковых характеристик от основных физико-географических факторов водосборов.

Если рядом с водосбором неизученной малой реки расположен водосбор гидрометрически изученной реки, удовлетворяющий условиям по выбору рек-аналогов [18], расчеты годового стока выполняются с использованием данных наблюдений на этом водотоке.

Нередко малые реки, формирующие сток в одной природной зоне, могут заметно различаться между собой при различии факторов подстилающей поверхности (геологическое строение водосборов, почвы, раститель-

ный покров, расчлененность рельефа, озера, болота, форма водосборной площади и т. п.). В таких случаях целесообразно в расчетах использовать региональные зависимости стоковых характеристик от основных физико-географических факторов водосборов. Для неисследованных малых горных рек по районным зависимостям стока от средней высоты водосбора, а для равнинных – от площади водосбора, установленных для изученных рек в районе исследования.

Методология нормирования допустимого безвозвратного изъятия речного стока и установления экологического стока для малых рек базируется на общих принципах и по принятой схеме. Основное различие заключается в определении критического объема воды в водном объекте ( $W_{кр}$ ) для воспроизводства организмов и функционирования экосистемы, который, при отсутствии данных по биологической продуктивности, определяется по методу критических гидроэкологических параметров.

Для решения задачи определения критического объема авторами данной статьи проведены исследования по определению пороговой величины речного стока, соответствующей критическому состоянию водной экосистемы малой реки. Работы проводились на основе обработки массива многолетних данных минимальных месячных или 30-суточных расходов воды в летне-осеннюю и зимнюю межень. При нормировании безвозвратного изъятия стока в качестве критической величины по аналогии с [19] рассматривалась возможность использовать пороговое значение скорости течения руслового потока, при значении которого русло реки еще не заиливается, не зарастает, сохраняются минимальные допустимые условия для формирования ценных для экосистемы видов гидробионтов. Обсуждение этих вариантов показало, что использование их в качестве критериев для установления критического стока для водной экосистемы нецелесообразно по причине их существенной изменчивости по длине рек и, соответственно, отсутствия подобных данных. Определение этих параметров требует значительной степени гидрологической изученности, которой нет на большинстве малых водотоков. Эти параметры могут применяться только на хорошо изученных водотоках. Подобные детальные исследования проведены на малых реках Эстонии [20].

При анализе многолетнего хода величин стока установлена сложная структура многолетних колебаний в виде последовательной смены многоводных и маловодных периодов, различающихся как по длительности, так и по величине отклонения от среднего за весь период наблюдений. Такая структура временных рядов получила название цикличности многолетних колебаний стока [21]. В колебаниях речного стока и подземного питания рек России выделяются периоды колебаний многоводных и маловодных периодов суммарной продолжительностью до 20–30 лет [22–25]. В условиях

циклических колебаний стока за границу наступления допустимо неблагоприятного (критического) маловодья на малых реках рекомендуем принимать величину годового стока 97 % обеспеченности в качестве критического гидроэкологического параметра. Эта величина, будучи малой даже среди маловодного цикла, но вместе с тем не являясь историческим минимумом стока реки, обеспечивает сохранение водной экосистемы, в особенности при увеличении расчетного периода и учете климатических изменений.

Следует отметить, что определение критического объема воды в водном объекте при существующей весьма ограниченной (а для большинства водных объектов отсутствующей) базе гидробиологических и гидроэкологических данных затруднительно. В последние годы при разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты по изъятию водных ресурсов (НДВ<sub>из</sub>) большинство разработчиков принимали за величину критического объема годовой сток 97 % обеспеченности. Примечательно, что эта величина использовалась не только для малых водотоков, но также для средних и больших рек, что возможно при условии обоснования ее применения в качестве критической. В подавляющем числе случаев при расчете НДВ<sub>из</sub> обоснования отсутствовали, что недопустимо. Использование величины критического объема стока 97 % обеспеченности наиболее применимо к малым рекам ввиду их сильной уязвимости и необходимости обеспечения запаса «прочности» пресноводной экосистемы. Обоснование величины 97 % обеспеченности для малых рек может быть уточнено в ходе дальнейших исследований. Для должного определения критического стока в бассейнах средних и больших рек разработчикам следует ставить вопрос о проведении полевых гидробиологических и гидроэкологических исследований бассейнов рек, где намечается активное антропогенное использование водных ресурсов, особенно в условиях их дефицита.

В данной работе для примера выбрана малая неизученная р. Белая – приток р. Пра (Окский бассейн). Площадь водосбора реки составляет 368 км<sup>2</sup>. Формирование водного режима происходит в естественных условиях.

Для равнинных территорий при сравнительно однообразных физико-географических условиях определение расчетного внутригодового распределения стока производится методом аналогии. За аналог может приниматься река, у которой площадь водосбора и другие характеристики условий формирования стока имеют отличия от неизученной реки, не выходящие за пределы критериев, установленных в п. 3.11 СП 33-101-2003 [11]. Таким условиям удовлетворяет р. Бужа (приток р. Пра) с гидрологическим постом в д. Избище. Площадь ее водосбора 1100 км<sup>2</sup>, период наблюдений 1950–2010 гг. Сток реки не нарушен хозяйственной деятельностью.

По изученной реке расчет внутригодового распределения выполнен методом среднего распределения стока за годы характерной градации воднос-

ти. При расчете внутригодового распределения стока этим методом формируется ряд годовых объемов стока. Полученный ряд ранжируется, для каждого члена ранжированного ряда определяется его эмпирическая обеспеченность. Далее отбираются годы соответствующей группы водности:

- очень многоводные ( $P < 16,7\%$ );
- многоводные ( $16,7\% \leq P < 33,3\%$ );
- средние по водности ( $33,3\% \leq P \leq 66,7\%$ );
- маловодные ( $66,7\% < P \leq 83,3\%$ );
- очень маловодные годы ( $P > 83,3\%$ ).

По каждой группе лет для изученной реки рассчитываются средние месячные значения объемов стока и выражаются в процентах от среднегодового объема стока для данной группы (табл. 1). Полученные значения принимаются в качестве модели относительного внутригодового распределения стока.

**Таблица 1.** Внутригодовое распределение стока р. Бужа – д. Избище, %

Водность года	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	Половодье (март – май)	Лимитирующий период (июнь – февраль)	
														Июнь – ноябрь	Декабрь – февраль
Очень многоводный ( $P < 16,7\%$ )	7	34	15	6	5	3	4	7	9	4	3	2	56	44	
														34	10
Многоводный ( $P < 33,3\%$ )	5	49	14	3	3	1	2	4	6	6	4	3	68	32	
														19	13
Средний ( $33,3\% \leq P \leq 66,7\%$ )	7	42	15	5	3	2	2	4	8	5	3	3	64	36	
														24	12
Маловодный ( $66,7\% \leq P < 83,3\%$ )	7	48	15	4	3	3	2	4	7	3	2	2	70	30	
														22	8
Очень маловодный ( $P \geq 83,3\%$ )	4	52	16	5	2	1	1	4	6	4	3	2	72	28	
														18	10

Расчеты проведены по многолетним рядам гидрологических наблюдений (по водохозяйственным годам). Расчетное распределение стока вычисляются путем умножения месячных долей стока на годовой объем стока расчетной вероятности превышения, определяемый по аналитической кривой обеспеченности. Средний годовой расход воды расчетной вероятности превышения реки-аналога приведен в табл. 2.

Таблица 2. Внутригодовое распределение стока в устье р. Белой, млн м<sup>3</sup>

Обеспеченность, %	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	Нелимитирующийся период Весна (III-V)	Лимитирующий период	
														Лето – осень (VI-XI)	Зима (XII-II)
1	8,50	41,3	18,2	7,28	6,1	3,64	4,85	8,50	10,9	4,85	3,64	2,43	68,0	41,3	10,9
5	7,22	35,1	15,5	6,19	5,2	3,10	4,13	7,22	9,29	4,13	3,10	2,06	57,8	35,1	9,3
10	6,58	32,0	14,1	5,64	4,70	2,82	3,76	6,58	8,46	3,76	2,82	1,88	52,6	32,0	8,5
25	3,91	38,3	10,9	2,35	2,35	0,78	1,56	3,13	4,69	4,69	3,13	2,35	53,2	14,9	10,2
50	4,48	26,9	9,60	3,20	1,92	1,28	1,28	2,56	5,12	3,20	1,92	1,92	41,0	15,4	7,0
75	3,47	23,8	7,43	1,98	1,49	1,49	0,99	1,98	3,47	1,49	0,99	0,99	34,7	11,4	3,5
90	1,54	20,0	6,16	1,92	0,77	0,38	0,38	1,54	2,31	1,54	1,15	0,77	27,7	7,3	3,5
95	1,29	16,7	5,15	1,61	0,64	0,32	0,32	1,29	1,93	1,29	0,97	0,64	23,2	6,1	2,9
98	1,01	13,1	4,04	1,26	0,50	0,25	0,25	1,01	1,51	1,01	0,76	0,50	18,2	4,8	2,3
99	0,85	11,0	3,38	1,06	0,42	0,21	0,21	0,85	1,27	0,85	0,63	0,42	15,2	4,0	1,9

Для р. Белой расчет годового стока выполнен с использованием модуля стока, определенного по реке-аналогу Бужа — д. Избище (табл. 3). Результаты расчета средних месячных объемов стока в годы различной водности для устья р. Белой приведены в табл. 4.

**Таблица 3.** Средние годовые расходы воды р. Бужа – д. Избище

Вероятность превышения, %	1	5	10	25	50	75	90	95	98	99
Расход воды, м <sup>3</sup> /с	11,4	9,67	8,81	7,41	6,0	4,7	3,64	3,05	2,4	2,0

**Таблица 4.** Средние годовые расходы и объема стока в устье р. Белой

Вероятность превышения, %	1	5	10	25	50	75	90	95	98	99
Расход воды, м <sup>3</sup> /с	3,81	3,24	2,95	2,48	2,01	1,57	1,22	1,02	0,80	0,67
Объем стока, млн м <sup>3</sup>	120	102	93,0	78,2	63,4	49,5	38,5	32,2	25,2	21,1

Средний многолетний годово́й сток р. Белой в устье составляет 63,4 млн м<sup>3</sup>.

Расчеты допустимого безвозвратного изъятия и экологического стока проведены по формулам, изложенным в общей схеме [9, 10].

За критическую величину ( $W_{кр}$ ) р. Белой принят годово́й объем стока 97 % обеспеченности, равный 28,4 млн м<sup>3</sup>. Величина стока 97 % обеспеченности определена по кривой обеспеченности объемов стока, восстановленной по значениям, указанным в табл. 4.

В качестве исторически минимального объема стока ( $W_{ист}$ ) принят расчетный объем годового стока 99 % обеспеченности, равный 21,1 млн м<sup>3</sup>.

$$W_{ДИ} = 28,4 - 21,1 = 7,3 \text{ млн м}^3,$$

то есть величина допустимого безвозвратного изъятия составляет 11,5 % от величины среднемноголетнего стока в створе.

Условное распределение средней величины допустимого безвозвратного изъятия по периодам водности приведено в табл. 5.

**Таблица 5.** Условное внутригодовое распределение средней величины допустимого безвозвратного изъятия р. Белая (устье)

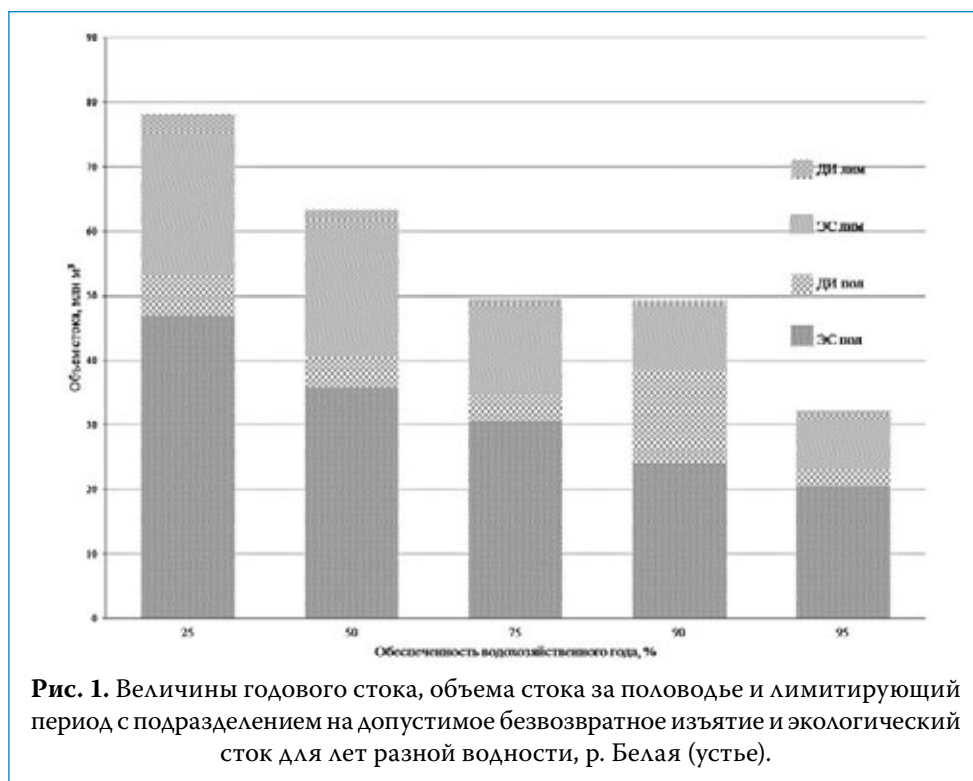
Показатели	Нелимитирующий период (III–V)	Лимитирующий период (VI – II)	Год
%	64,6	35,4	100
Объем допустимого безвозвратного изъятия, км <sup>3</sup>	40,9	22,4	63,4

Величина допустимого безвозвратного изъятия в годы различной водности ( $W_{ДИР}$ ) определяется по формуле:

$$W_{ДИР} = W_{ДИ ср} \cdot \frac{W_p}{W_{ср}}$$

По таблице внутригодового распределения (см. табл. 1) рассчитываются значения допустимого безвозвратного изъятия и экологического стока для лет разной обеспеченности стока.

На рис. 1 отображены расчетные значения безвозвратного допустимого изъятия стока и величины экологического стока на гидрологическом посту р. Белая (устье) для лет разной водности.



### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований подготовлены следующие предложения. Нормирование допустимого безвозвратного изъятия речного стока и установление экологического стока на слабоизученных и неизученных реках рекомендуется проводить по рекам-аналогам. Величина критического стока неизученной реки определяется по формуле:

$$W_{кр\ x} = a_{кр} \cdot W_x,$$

где  $W_{кр\ x}$  – критический сток в бассейне неизученной реки;

$a_{кр}$  – коэффициент приведения критического стока;

$W_x$  – средний многолетний сток неизученной реки.

В аналогичной последовательности определяется величина исторического стока неизученной реки  $W_{ист\ x}$ .

Определение объемов допустимого безвозвратного изъятия стока из малых рек должно учитывать их специфику (азональность, трудность подбора аналога, особенности водного режима) при установлении критического стока. Рассмотрение порогового значения скорости течения, при которой русло еще не заиливается, не зарастает, сохраняются минимальные допустимые условия для поддержания водной экосистемы и существования гидробионтов, показало, что использование этого критерия нецелесообразно для установления критического стока.

В качестве критической величины для малых рек рекомендован годовой сток 97 % обеспеченности. Эта величина, будучи низкой даже среди маловодного цикла, но не являясь историческим минимумом стока реки, обеспечивает сохранение водной экосистемы.

Эти предложения могут быть включены в новый проект «Методических указаний по нормированию допустимого безвозвратного изъятия речного стока и установлению экологического стока (попуска)».

В Приложении Г «Методических указаний по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты (НДВ)» [26] приведена методика расчета нормативов допустимого воздействия по изъятию водных ресурсов (НДВ<sub>из</sub>). Методика нуждается в уточнениях в связи проведенными дополнительными исследованиями и выводами данной работы. В Приложение Г необходимо внести редакционные уточнения и заменить общий алгоритм расчета величины допустимого безвозвратного изъятия стока поверхностных вод из речных бассейнов и определения экологического стока.

В Водном кодексе Российской Федерации отсутствуют требования по установлению объема допустимого изъятия воды из водных объектов. В целях совершенствования государственного управления в области использования и охраны водных объектов необходимо внести в Водный кодекс понятия «объем допустимого безвозвратного изъятия стока поверхностных вод», «экологический сток», «экологический попуск». Требуется установить порядок нормирования допустимого безвозвратного изъятия стока поверхностных вод.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года. Утв. распоряжением Правительства РФ от 27 августа 2009 г. N 1235-р.
2. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ.
3. Брисбенская декларация [текст]: [принята и провозглашена на международной конференции по экологическому стоку 6 сен. 2007 г.].
4. Jay O'Keeffe Sustaining river ecosystems: balancing use and protection. *Progress in Physical Geography* 33(3). 2009. P. 339-357
5. *Dyson, M., Bergkamp, G. and Scanlon, J.* 2003. Flow. Gland, Switzerland: IUCN – the World Conservation Union.
6. Дубинина В.Г., Гаргона Ю.М., Чебанов М.С., Катунин Д.Н., Филь С.А. Методические подходы к экологическому нормированию антропогенного сокращения речного стока // *Водные ресурсы*. 1996, № 1. С. 78–85.
7. Дубинина В.Г. Методические основы экологического нормирования безвозвратного изъятия речного стока и установления экологического стока (попуска). М.: Экономика и информатика. 2001. 118 с.
8. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия / Отв. ред.: Н.И. Коронкевич, И.С. Зайцева, М.: Наука. 2003. 367 с.
9. Дубинина В.Г., Косолапов А.Е., Коронкевич Н.И., Чебанов М.С., Скачедуб Е.А. Методические подходы к экологическому нормированию безвозвратного изъятия речного стока и установлению экологического стока (попуска) // *Водное хозяйство России*. № 3. 2009. С. 26–61.
10. Дубинина В.Г., Косолапов А.Е., Вуглинский В.С. Применение методических документов по нормированию допустимого безвозвратного изъятия речного стока // *Проблемы безопасности в водохозяйственном комплексе России*. Краснодар: ООО «Авангард плюс». 2010. С. 338–348.
11. Свод правил СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Изд. официальное. М.: Госстрой России, 2004. 73 с.
12. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных наблюдений. СПб.: Ротапринт ГНЦ ААНИИ, 2007. 66 с.
13. *Евстигнеев В.М.* Малые реки. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://science.viniti.ru>.
14. ГОСТ 19179-73 Гидрология суши. Термины и определения.
15. Ресурсы поверхностных вод СССР. Монография. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 460 с.
16. Малые реки волжского бассейна // Под ред. Н.И. Алексеевского. М., 1998. 234 с.
17. *Воскресенский К.П.* Гидрологические расчеты при проектировании сооружений на малых реках, ручьях и временных водотоках (методические основы и практика). Гидрометеиздат. Л., 1956. 467 с.
18. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. ГУ «ГГИ». СПб., Нестор-История, 2009.

19. Яцик А.В., Бишовец Л.Б., Кириченко С.М. Методика определения уровней отбора воды из рек с целью обеспечения стабильного функционирования их экосистем. К., 2002. 48 с.
20. Вельнер Х.А., Каск А.Г. Определение лимитирующего минимального расхода воды рек в интересах охраны водоемов от загрязнения и истощения // Экологические модели малых рек и водоемов: труды советско-датского симпозиума, Силькеборг, Дания, 14–19 июня 1981 г. / под ред. А.М. Никанорова [и др.]. Л.: Гидрометеиздат, 1985. С. 21–27.
21. Евстигнеев В.М. Речной сток и гидрологические расчеты. М.: Изд-во МГУ, 1990. 304 с.
22. Артемьева Н.П., Куприянов В.В. Анализ циклических колебаний минимального зимнего стока рек Советского Союза // Сб. работ по гидрологии. Л.: Гидрометеиздат, 1988. С. 104–114.
23. Водные ресурсы России и их использование. / Под ред. И. А. Шикломанова. ГГИ, СПб., 2008. 598 с.
24. Ковалевский В.С. Многолетние колебания уровней подземных вод и подземного стока. М., Наука, 1976. 270 с.
25. Леонов Е.А. Космос и сверхдолгосрочный гидрологический прогноз. СПб. Изво Алетейя, 2010 г. 350 с.
26. Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты. Утв. приказом МПР РФ от 12 декабря 2007 г. N 328. Зарег. в Минюсте России 23 янв. 2008 г. № 10974.

#### **Сведения об авторах:**

Дубинина Валентина Георгиевна, д-р геогр. наук, старший научный сотрудник, начальник отдела координации деятельности в области сохранения водных биоресурсов, ФГБУ «Центральное управление по рыбохозяйственной экспертизе и нормативам по сохранению, воспроизводству водных биологических ресурсов и акклиматизации» (ФГБУ «ЦУРЭН»), 125009, Москва, Большой Кисловский пер., д. 10, стр. 1; e-mail: vgdu@mail.ru

Никитина Оксана Игоревна, координатор проектов по сохранению пресноводных экосистем и устойчивой гидроэнергетике, Всемирный фонд дикой природы (WWF России), 109240, Москва, ул. Николоямская, д. 19, стр. 3; e-mail: ONikitina@wwf.ru

Марков Михаил Леонидович, канд. геогр. наук, доцент, ФГБУ «Государственный гидрологический институт», 199053, Санкт-Петербург, ВО, 2-я линия, д. 23; e-mail: 2014mml@gmail.com