



УДК 556.535

DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-3-424-433

Экологический сток в речных потоках

Дмитриева В.А.

Воронежский государственный университет
Россия, 394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1
E-mail: verba47@list.ru

Аннотация. Экологический сток в водных потоках рассмотрен как гарант равновесного состояния водного объекта с сохранением его исходных природных функций. Обращается внимание на незавершенность теоретического смысла понятия «экологический сток», но одновременно необходимость его количественного определения. Цель исследования заключается в разработке методического подхода к оценке экологического стока и расчетов допустимого изъятия воды из водного объекта. Для реки Дон и ее 16 притоков разных размеров определены объемы допустимого (безвозвратного) изъятия стока и объемы экологического стока в кубических километрах. Продолжительность расчетных рядов речного стока варьирует от 60 до 124 лет. Алгоритм расчета включает поэтапное определение базового, исторического и критического объемов речного стока и на их основе объемов допустимого изъятия и экологического стока 95%-ной обеспеченности. Выполнено картографическое моделирование пространственной изменчивости объемов допустимого изъятия и экологического стока 95%-ной обеспеченности. Результаты расчетов показали, что объем экологического стока после безвозвратного изъятия вод составляет для средних и больших рек 65–86 %, а для малых – 100 % от объема водных ресурсов 50%-ной обеспеченности. Практическая значимость исследования заключается в возможности экстраполяции полученных результатов на неизученные в гидроэкологическом аспекте реки, но представляющие хозяйственный интерес в сферах водопользования.

Ключевые слова: река, расход воды, объем стока, водные ресурсы, Верхний Дон, водопользование

Для цитирования: Дмитриева В.А. 2022. Экологический сток в речных потоках. Региональные геосистемы, 46(3): 424–433. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-424-433

Ecological Runoff in the River Streams

Vera A. Dmitrieva

Voronezh State University,
1 Universitetskaya Sq., Voronezh 394018, Russia
E-mail: verba47@list.ru

Abstract. The river water resources constitute an important factor in the socio-economic progress of the society. The ecological runoff volume is an indicator of the current hydro-ecological status of a water body as well as its economic potential. The purpose of this study is the evaluation of such runoff, that has both theoretical and practical applications. The database includes multi-year average water runoff observations obtained by 27 hydrological stations in the Upper Don River basin. The span of observations varies between 60 and 124 years. The ecological runoff values have been calculated targeting the 95 % probability of hydrological values, especially important for low water level periods. Our calculations show that ecological runoff after non-replenished water withdrawal is 65–86 % for big and medium rivers, and 100 % for the small rivers to achieve 50 % probability of hydrological values. The small and mid-size rivers, especially the ones with smaller water flux at the headwaters, provide the lowest acceptable withdrawal values. Such examples would be rivers like Sosna, Krasivaya Mecha, Devitsa, Lesnoy Voronezh. The use of cartography presents the variability of the acceptable (non-replenished)

water withdrawal, and the ecological runoff values, expressed in cubic kilometers. The practical adherence to those values should preserve the functionality of the natural hydro-ecosystem of the Upper Don River tributaries.

Keywords: river, flow rate, flow volume, water resources, Upper Don, using of water

For citation: Dmitrieva V.A. 2022. Ecological Runoff in the River Streams. Regional Geosystems, 46(3): 424–433 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-424-433

Введение

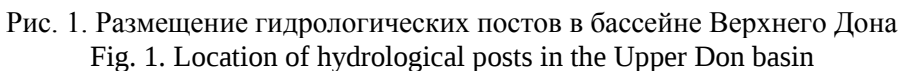
Устойчивость регионального развития находится в большой зависимости от водного фактора. Поверхностные, подземные и атмосферные воды представляют взаимосвязанную водную сферу, которая в триединстве играет важную роль в обеспечении жизнеутверждающих потребностей человека. Территориальный водный потенциал предопределяет развитие различных сфер экономики, функционирование водоемких отраслей и комфортность жизнедеятельности человека. Важными сторонами водообеспеченности являются объем и качество водных ресурсов. Количественные запасы водных ресурсов изменяются под воздействием природных и антропогенных факторов. Динамика объемов речного стока сопровождается реакцией качественного состояния, которое может завершиться его сохранением с выполнением первоначальных функций, либо деградацией. Равновесное состояние водного объекта гарантируется некоторым оптимумом объема водных ресурсов, называемым «экологическим стоком».

Экологический сток, несмотря на незавершенность интерпретации его теоретического смысла и практического расчета, все увереннее входит в обиход наук о воде и отраслей водопользования. В научную терминологию понятие было введено Б.В. Фащевским [1989; 1996], а продолжение теоретического осмысления и количественной оценки экологического стока получило в отечественных и зарубежных исследованиях [Владимиров, Иманов, 1994; Poff, 1997; Tharme, 2003; Брисбенская декларация..., 2007; Методические подходы..., 2009; O’Keeffe, Quesne, 2009; Linnansaari et al., 2012; Маркин и др., 2015; Иманов и др., 2017; Бурлибаев, Бурлибаева, 2020; Lisetskii, 2021]. В настоящее время имеются примеры расчетов количественных характеристик экологического стока для ряда рек и речных систем России, в частности, р. Дон [Схема..., 2013; Бучик, 2021], р. Амур [Никитина, 2015], р. Белая и ее притоков [Елизарьев и др., 2013], средних и малых рек Енисейского бассейнового округа [Колесникова, Синельникова, 2020] и др.

В настоящем исследовании под «экологическим стоком» понимается объем русловых запасов вод, характеризующий определенный оптимум, сохраняющий существование гидроэкосистемы после безвозвратного изъятия водных ресурсов при хозяйственном водопользовании. Объем экологического стока является важным показателем текущего гидроэкологического состояния водного объекта и одновременно его потенциального использования в сферах экономики. Его определение предельно актуально в периоды маловодья при крайне неблагоприятных условиях, например, при водности 95%-ной обеспеченности.

Объекты и методы исследования

Исходная информация для последовательного поэтапного определения расходов и объемов воды расчетной 95%-ной обеспеченности, объемов допустимого изъятия стока и экологического стока включает среднегодовые, максимальные и минимальные расходы воды за период многолетних стационарных наблюдений на постах Верхнего Дона. Материалы наблюдений на гидрологических пунктах рассматриваемой верхней части Донского бассейна охватывают преимущественно средние реки (рис. 1).



Различные принципы, методы и методики расчета экологического стока не дают единого, агрегированного алгоритма. В связи с этим нами приняты во внимание Постановление Правительства РФ от 30 декабря 2006 г. № 881 «О порядке утверждения нормативов допустимого воздействия на водные объекты», Приказ МПР РФ от 12 декабря 2007 г. № 328 «Об утверждении Методических указаний по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты» и методика расчета, предложенная авторским коллективом под руководством В.Г. Дубининой [Методические подходы..., 2009] с соответствующей корректировкой и адаптацией к задачам исследования.

Результаты и обсуждение

Реки малых, средних и больших размеров играют важную роль в жизнедеятельности человека. Как элементы природной среды, они выполняют различные функции: «водохозяйственную, рекреационную, ландшафтную, эстетическую, социально-экономическую, экологическую» [Фролова, 2012]. Полнота востребованности конкретного водного объекта зависит от объема речного стока и его распределения в течение года, качества водных ресурсов, доступности и перспективности использования в сферах деятельности человека. В густонаселенной европейской части России речные бассейны значительно урбанизированы, а водные ресурсы рек активно эксплуатируются для удовлетворения различных потребностей населения. Водопользование включает изъятие вод, использование вод без их забора, а также сброс сточных вод обратно в водный объект. Поступление сточных вод в водные объекты, особенно загрязненных, нарушает природный гидрохимический состав, степень изменения которого зависит от соотношения объема сточных вод и объема водных ресурсов, способных принять и разбавить до безопасной для человека и гидробионтов концентрации.

Запасы воды в водных объектах не остаются постоянными. Их формируют природно-климатические (атмосферные осадки, потенциальное испарение, рельеф, морфометрия речного бассейна и реки, разнообразная подстилающая поверхность) и антропогенные факторы. Природно-климатические факторы определяют количественные показатели водных ресурсов, а антропогенные – и количественные, и качественные.

В текущем столетии на европейской части России в бассейнах рек отмечаются как повышение водности, так и ее снижение, в связи с чем тенденции в водных ресурсах Дона характеризуются неоднозначно [Шикломанов и др., 2008; Джамалов и др., 2017; Дмитриева, 2020; Научно-прикладной..., 2020; Научно-прикладной..., 2021; Кумани и др., 2021]. В верхнем течении Дона значительного снижения годовых водных ресурсов не наблюдается, что подтверждается графиком изменений средних годовых расходов воды по гидропосту Задонск на р. Дон в Липецкой области (рис. 2).

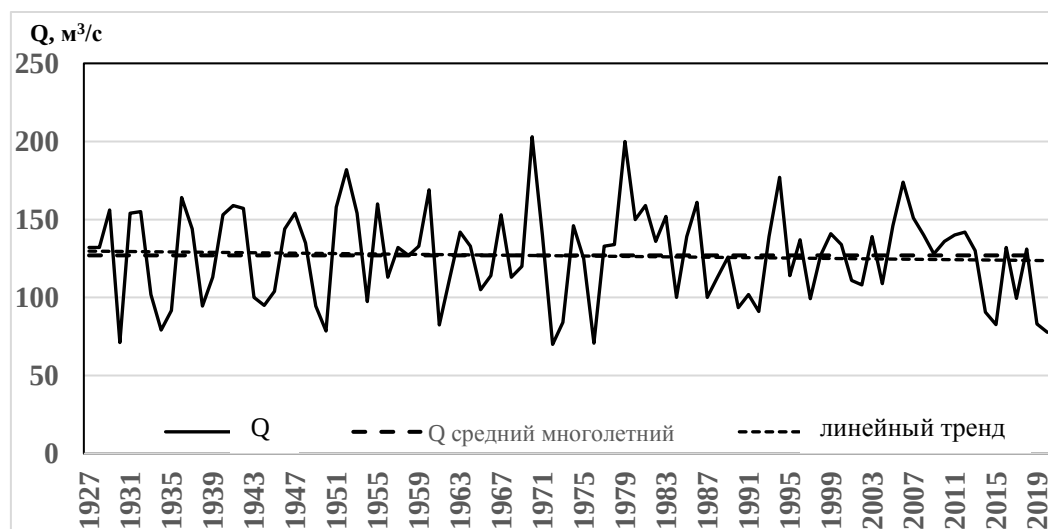


Рис. 2. Среднегодовые расходы воды р. Дон – г. Задонск за период мониторинга, г. Задонск

Fig. 2. The average annual water flow river Don – city Sadonsk for the monitoring period

Анализируя график многолетних изменений среднегодовых расходов воды, определяющих годовые водные ресурсы, отмечаем, что линия тренда фактически совпадает со среднемноголетней величиной годового стока (нормой). Отсюда следует, что значительные и направленные изменения в водных ресурсах в верхнем течении Дона отсутствуют.



В то же время прослеживается затяжное маловодье, со средними годовыми расходами воды ниже нормы. Оно начинается в Донском бассейне с 2007 г. Все среднегодовые расходы воды снижаются до минимального значения в 2020 г., равного $77,8 \text{ м}^3/\text{с}$ при норме $127 \text{ м}^3/\text{с}$, т.е. достигнув лишь 61 % от нормы. Сравнение речного стока 2020 г. и 2006 г., последнего многоводного года-предшественника в череде маловодных лет, показало, что средний годовой сток 2020 г. составил всего 45 % от годового расхода сопоставляемого года. Аналогичная ситуация с водностью сформировалась по всей длине Дона. Отклонение от нормы в низовье Дона в указанном году достигло 57,6 % [О состоянии..., 2021]. Дальнейшее длительное сохранение фазы низкой водности в стоке может привести к снижению компенсационного эффекта от разнонаправленных тенденций в объемах ресурсов половодья и межени и привести к сокращению водных ресурсов Верхнего Дона.

Уменьшение склонового стока [Кашутина и др., 2020], снижение руслового стока, сокращение стока половодья ведут к деградации малых поверхностных водотоков, превращению их во временные водотоки или сухие русла. Преобразования речной сети малых водотоков в бассейне Верхнего Дона значительно активизировались в 2010–2020 гг. Они происходят под воздействием как природно-климатических, так и антропогенных факторов. Только в бассейне р. Сосна на территории Липецкой области за эти годы речная сеть сократилась на 8,2 %. Деградация водотоков – потенциальный признак изменения состояния рек, прежде всего истощения водных запасов, а далее – угнетение гидроэкологических функций.

Одновременно с уменьшением водности рек может возникать гидроэкологическая напряженность, которая сопровождается снижением качества воды при сохранении прежней нагрузки на водотоки. В большинстве гидроэкологических створов наблюдений в верхнем течении р. Дон фиксируется загрязненность воды органическими веществами (по БПК₅ и ХПК), соединениями меди, в отдельных створах к ним добавляется нитритный азот. Среднегодовые концентрации в 2020 г. колебались в пределах 1–3 ПДК, органических веществ (по БПК₅ и ХПК) – 2,02–4,06 и 18,7–29,4 мг/л [О состоянии..., 2021]. Качество воды характеризуется от «условно чистой» и «слабо загрязненной» до «загрязненной» и не удовлетворяет международным стандартам [WWAP, 2015]. Указанными компонентами перечень загрязнителей не ограничивается. Спектр их весьма широк и отражает всю палитру химических загрязняющих веществ, поступающих с бытовыми и производственными сточными водами непосредственно в речную сеть и с водосборной площади. Таким образом, речные потоки, независимо от уровня их востребованности в экономических секторах, несут прямую или косвенную антропогенную нагрузку, связанную с деятельностью человека на водосборе и непосредственно в русле реки, приводящую к разного уровня нарушениям гидроэкологического равновесия гидросистем. Снижение качества воды – самая распространенная реакция на внешние вызовы экологической направленности.

Поскольку речные потоки рассматриваются как фактические и потенциальные емкости для приема сточных вод, то для рационального природопользования, в том числе эффективного водопользования, следует предвидеть и рассчитать объемы водных ресурсов, необходимые и достаточные для разбавления загрязненных вод. Особенно сложные ситуации, водный «стресс» [Стоящева, 2018], могут возникнуть в периоды низкой водности, которые в бассейне Верхнего Дона вполне вероятны в летне-осеннюю межень вследствие высокой востребованности водных ресурсов. Для ресурсной оценки водного объекта с позиции водопользования рассчитывается коэффициент использования в процентах [Шикломанов и др., 2008]. Коэффициент использования водных ресурсов в бассейне Дона велик, в 2018 г. он составлял 35,4 % и являлся одним из самых высоких по бассейнам рек России [Демин, 2020]. Для территориальных оценок удельной водообеспеченности нередко применяется балльная система, позволяющая выделить регионы, бассейны или зоны с высокой, средней или низкой водообеспеченностью [Дмитриева, Нефедова, 2018] с вытекающими отсюда условиями водопользования и развития водоемких отраслей.

В контексте сказанного возникает необходимость определения некоторого оптимального объема, минимального запаса в водном объекте, способного поддерживать качество воды, природный уровень геосистемы и одновременно обеспечивать надежное водоснабжение. Для оценки состояния водных ресурсов с позиции качества и достаточности объема для водопользования применяются различные критерии и показатели. Качество воды характеризуется величиной индекса загрязнения воды (ИЗВ) или удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ).

Ассимилирующая способность потока оценивается коэффициентом кратности разбавления, связывающего отношение объема водных ресурсов с объемом сточных вод, сбрасываемых в водный объект [Румянцев, Коронкевич, 2014; Стоящева, 2018].

Экологический сток является важным инструментом управления водными ресурсами. Наряду с ним критерием рационального водопользования и одним из видов оценки антропогенного влияния на гидроэкологическое состояние водных объектов являются объемы допустимого изъятия вод из водного объекта. В современных расчетах для зарегулированных рек используются «Методические подходы к экологическому нормированию безвозвратного изъятия речного стока и установлению экологического стока (попуска)» [2009], разработанные авторским коллективом в составе: В.Г. Дубининой, А.Е. Косолапова, Е.А. Скачедуба, Н.И. Коронкевича, М.С. Чебанова.

Величина объема экологического стока непостоянна внутри года, поэтому рассчитывается индивидуально для каждого календарного месяца. Внутригодовое распределение экологического стока осуществляется в соответствии с внутригодовым распределением речного стока конкретного года или многолетним его распределением.

В водопользовании наибольший интерес представляют расчетные объемы экологического стока для лет с низкой водностью высокой обеспеченности. Наиболее жесткие условия водообеспечения возникают в очень маловодные годы, например, с вероятностью превышения 95 %, поскольку при этом, предположительно, в значительной мере деформируются водохозяйственная, экологическая, рекреационная, социально-экономическая функции водного объекта.

Алгоритм расчета экологического стока последовательно включает следующие этапы: формирование ранжированного ряда среднегодовых расходов воды; построение, увязка и анализ эмпирической и аналитической кривых обеспеченности; снятие с кривой обеспеченности расхода заданной вероятности превышения; определение критического расхода воды, соответствующего переломной точке в области минимальных значений; снятие с кривой обеспеченности исторически минимального расхода воды, соответствующего 99%-ной обеспеченности; перевод расходов воды в объемы стока; сопоставление критического объема с минимальным объемом за многолетний период; определение разницы между критическим объемом и минимальным объемом, приравняваемой к объему ежегодного допустимого (безвозвратного) изъятия воды из водного объекта. Рассчитанные по указанной схеме объемы допустимого (безвозвратного) изъятия воды и объемы экологического стока имеют важное значение для принятия решений о целесообразности практического использования водного объекта.

Пространственная изменчивость расчетных характеристик объемов допустимого (безвозвратного) изъятия воды и экологического стока обеспеченностью 95 % рек Верхнего Дона представлена на картосхемах (рис. 3, 4).

Объемы допустимого (безвозвратного) изъятия из водного объекта составляют от 0 % (р. Сосна – п. Ивань 2-я) до 17 % (р. Дон – г. Лиски) от базового (среднего) стока. Объем экологического стока на рассматриваемой территории Верхнедонского бассейна варьирует в значительном диапазоне в зависимости от водоносности объекта. Его величина после безвозвратного изъятия вод из водного объекта составляет для средних и больших рек 65–86 %, а для малых 100 % от объема водных ресурсов 50%-ной обеспеченности. Наименьшие абсолютные значения присущи преимущественно малым водотокам, но также и средним по раз-

мерам рекам, если они в истоке представляют собой малый водоток, например, р. Сосна, Красивая Меча, Девица, Лесной Воронеж. В верховьях этих рек функционируют гидрологические посты, сведения по которым позволяют выполнить расчеты экологического стока.

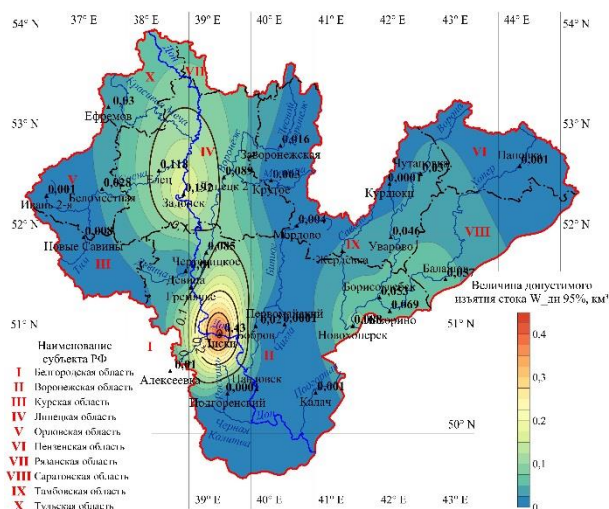


Рис. 3. Пространственная изменчивость допустимого (безвозвратного) изъятия воды
Fig. 3. Spatial variability of acceptable (non-refundable) water withdrawals

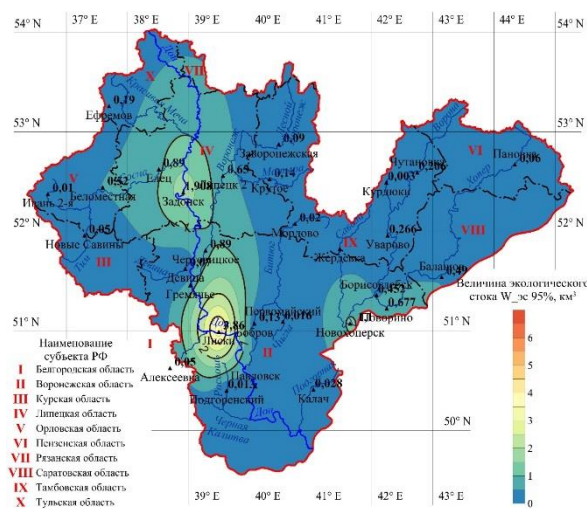


Рис. 4. Пространственная изменчивость объемов экологического стока
Fig. 4. Spatial variability of environmental flow volumes

Закключение

Оценка величины экологического стока по основным притокам бассейна Верхнего Дона позволяет корректировать использование водных ресурсов с учетом водности реального года или для года заданной расчетной обеспеченности. Соблюдение установленных величин, в свою очередь, исключает возникновение дефицита водных ресурсов, связанного со значительными объемами безвозвратного изъятия стока выше расчетных значений. Представленная картографическая схема объемов пространственного распределения экологического стока рек бассейна Верхнего Дона дает возможность оценить расчетный параметр для неизученных рек и использовать в управлении водными ресурсами. Объемы экологического стока могут служить критерием рационального водопользования и одним из видов оценки антропогенного влияния на гидроэкологическое состояние водных объектов.

Список источников

- Брисбенская декларация. 2007. Международная конференция по экологическому стоку, 6 сентября 2007, Брисбен, 7 с.
- Маркин В.Н. Раткович Л.Д., Соколов С.А. 2015. Внутригодовое распределение экологического стока малых рек. М., Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 77 с.
- Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики водных объектов бассейна реки Дон. 2020. Под ред. В.Ю. Георгиевского. СПб., Свое издательство, 262 с.
- Научно-прикладной справочник: Многолетние колебания и изменчивость водных ресурсов и основных характеристик стока рек Российской Федерации 2021. Под ред. В.Ю. Георгиевского. СПб., ООО "РИАЛ", 190 с.
- Никитина О.И. 2015. Экологический сток и его значение для пресноводных экосистем. Экологический сток в бассейне Амура. Всемирный фонд дикой природы (WWF) России. М., WWF России, 97 с.

- О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад. 2021. Минприроды, МГУ им. М.В. Ломоносова, 864 с.
- Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Дон. 2013. Ст. 50. Электронный ресурс. URL: http://www.donbv.ru/activities/use_and_protection_don/ (дата обращения: 09.02.2022).

Список литературы

- Бурлибаев М.Ж., Бурлибаева Д.М. 2020. Концептуальные основы нормирования экологического стока рек Казахстана. Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 5: 52–73. DOI: 10.35567/1999-4508-2020-5-4
- Бучик С.В. 2021. Современные гидроэкологические трансформации и оценка экологического стока в бассейне Верхнего Дона. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Воронеж, 28 с.
- Владимиров А.М., Иманов Ф.А. 1994. Принципы оценки экологического стока рек. В кн.: Вопросы экологии и гидрологические расчеты: сборник научных трудов. Выпуск 116. Отв. ред. А.М. Владимиров. Санкт-Петербург, Российский государственный гидрометеорологический университет (Санкт-Петербург): 4–7.
- Джамалов Р.Г., Киреева М.Б., Косолапов А.Е., Фролова Н.Л. 2017. Водные ресурсы бассейна Дона и их экологические состояние. М., ГЕОС, 205 с.
- Демин А.П. 2020. Водообеспечение населения и объектов экономики в бассейне реки Дон: современное состояние и проблемы. Водные ресурсы, 47(6): 767–778. DOI: 10.31857/S0321059620060048.
- Дмитриева В.А. 2020. Современные изменения водного режима и морфометрии рек Верхнедонского бассейна. Известия Российской академии наук, Серия географическая, 1: 103–113. DOI: 10.31857/S2587556620010070.
- Дмитриева В.А., Нефедова Е.Г. 2018. Гидрологическая реакция на меняющиеся климатические условия и антропогенную деятельность в бассейне Верхнего Дона. Вопросы географии, 145: 285–297.
- Дубинина В.Г., Косолапов А.Е., Скачедуб Е.А., Коронкевич Н.И., Чебанов М.С. 2009. Методические подходы к экологическому нормированию безвозвратного изъятия речного стока и установлению экологического стока (попуска). Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 3: 26–60.
- Елизарьев А.Н., Фашевская Т.Б., Афанасьев И.А., Кияшко И.Ю. 2013. Оценка водного потенциала территории республики Башкортостан с использованием ГИС-технологий. Современные проблемы науки и образования, 2: 475.
- Иманов Ф.А., Раджабов Р.Ф., Нуриев А.А. 2017. Метод определения экологического стока рек Азербайджана. Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 5: 90–101.
- Кашутина Е.А., Ясинский С.В., Коронкевич Н.И. 2020. Весенний поверхностный склоновый сток на Русской равнине в годы различной водности. Известия Российской академии наук. Серия географическая, 1: 37–46. DOI: 10.31857/S2587556620010100.
- Колесникова Е.В., Синельникова Н.А. 2020. Геоэкологические проблемы рационального использования водных ресурсов средних и малых рек Енисейского бассейнового округа. В кн.: Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология от познания к мировоззрению. Международная научная конференция памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова, 23–31 октября 2020, Санкт-Петербург. СПб., Издательство ВВМ: 900–905.
- Кумани М.В., Шульгина Д.В., Киселев В.В. 2021. Многолетняя динамика основных элементов стока рек в пределах Центрального Черноземья. Региональные геосистемы, 45(4): 617–631. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-617-631.
- Румянцев В.А., Коронкевич Н.И. 2014. Стратегические ресурсы природных вод России. В кн.: Стратегические ресурсы и условия устойчивого развития Российской Федерации и ее регионов. Под ред. В.М. Котлякова, А.А. Тишкова. М., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт географии Российской академии наук: 62–70.
- Стоящева Н.В. 2018. Оценка антропогенной нагрузки на водные объекты бассейна Верхней Оби в разные по водности периоды. Известия Алтайского отделения Русского Географического Общества, 4(51): 17–26.

- Фашевский Б.В. 1989. Экологическое обоснование допустимой степени регулирования речного стока. Минск, БелНИИИТИ, 51 с.
- Фашевский Б.В. 1996. Основы экологической гидрологии. Минск, Экоинвест, 240 с.
- Фролова Н.Л. 2012. Гидрологические ограничения природопользования. В кн.: Географо-гидрологические исследования. Под ред. В.М. Котлякова, Н.И. Коронкевича, Е.А. Барабановой. М., Кодекс: 456–478.
- Шикломанов И.А., Бабкин В.И., Никифорова И.А. 2008. Водные ресурсы России и их использование = Water resources of Russia and their use. Санкт-Петербург, Государственный гидрологический институт, 596 с.
- Lisetskii F. 2021. Rivers in the Focus of Natural-Anthropogenic Situations at Catchments. Geosciences. [Switzerland], 11(2): 63. DOI: 10.3390/geosciences11020063.
- O'Keeffe J., Quesne T.L. 2009. Keeping Rivers Alive: a Primer on Environmental Flows. Washington, World Wildlife Fund, 39.
- Linnansaari T., Monk W.A., Baird D.J., Curry R.A. 2012. Review of Approaches and Methods to Assess Environmental Flows Across Canada and Internationally. Canadian Science Advisory Secretariat, 039: 1–74.
- Tharme R.E. 2003. A global perspective on environmental flow assessment emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. River Research and Applications, 19(5–6): 397–441. DOI: 10.1002/rra.736.
- Poff N.L. 1997. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. Bioscience, 47(11): 769–784.
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2015. Paris, The United Nations World Water Development Report, 122 p.

References

- Burlibaev M.Zh., Burlibaeva D.M. 2020. Conceptual Basics of Standardization of Ecological and Free Flow for Rivers in Kazakhstan. Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management, 5: 52–73 (in Russian). DOI: 10.35567/1999-4508-2020-5-4.
- Buchik S.V. 2021. Sovremennye gidroekologicheskie transformatsii i otsenka ekologicheskogo stoka v bassejne Verkhnego Dona [Modern hydroecological transformations and assessment of ecological flow in the Upper Don basin]. Abstract. diss. ... cand. geogr. sciences. Voronezh, 28 p.
- Vladimirov A.M., Imanov F.A. 1994. Principy ocenki ekologicheskogo stoka rek [Principles of assessing the ecological flow of rivers]. In: Voprosy e'kologii i gidrologicheskikh raschetov: sbornik nauchny'kh trudov [Questions of ecology and hydrological calculations: a collection of scientific papers]. Issue 116. Ed. by A.M. Vladimirov. Saint Petersburg, Publ. RGGMI: 4–7.
- Dzhamalov R.G., Kireeva M.B., Kosolapov A.E., Frolova N.L. 2017. Vodny'e resursy' bassejna Dona i ikh ekologicheskoe sostoyanie [Water resources of the Don basin and their ecological state]. Moscow, Publ. GEOS, 205 p.
- Demin A.P. 2020. Water Supply to the Population and Economic Facilities in the Don River Basin: the Current State and Problems. Water Resources, 47(6): 1077–1087 (in Russian). DOI: 10.1134/S0097807820060044.
- Dmitrieva V.A. 2020. Modern Changes in the Water Regime and the Morphometry of Rivers in the Upper Don Basin. Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya, 1: 103–113 (in Russian). DOI: 10.31857/S2587556620010070.
- Dmitrieva V.A., Nefedova Ye.G. 2018. Hydrological Response to Conditions of Changing Climate and Human Activities in Upper Don Catchment Area. Voprosy geografii, 145: 285–298 (in Russian).
- Dubinina V.G., Kosolapov A.Y., Skachadub Y.A., Koronkevich N.I., Chebanov M.S. 2009. Methodical Approaches to Ecological Standardization of Water Flow Irreversible Withdrawal and Ecological Discharge (Release) Setting. Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management, 3: 26–60 (in Russian).
- Elizarev A.N., Fashchinskaya T.B., Afanasev I.A., Kiyashko I.Yu. 2013 Estimation of Bashkortostan Republic Water Potential Via GIS-Technologies. Modern Problems of Science and Education, 2: 475 (in Russian).
- Imanov F.A., Radzhabov R.F., Nuriyev A.A. 2017. A Method for the Azerbaijan Rivers' Ecological Runoff Determination. Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management, 5: 90–101 (in Russian).

- Kashutina E.A., Yasinskii S.V., Koronkevich N.I. 2020. Spring Slope Runoff on the Russian Plain in Years of Different Water Content. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 1: 37–46 (in Russian). DOI: 10.31857/S2587556620010100.
- Kolesnikova E.V., Sinelnikova N.A. 2020. Geoenvironmental Issues in Sustainable Use of Water from the Minor and Medium Rivers in the Yenisei Basin District. In: IV Vinogradov Conference Hydrology: from Learning to Worldview. International scientific conference in memory of the outstanding Russian scientist Yuri Borisovich Vinogradov, 23–31 October 2020. St. Petersburg, Publ. VVM: 900–905 (in Russian).
- Kumani M.V., Shulgina D.V., Kiselev V.V. 2021. Long-term Dynamics of the Main Elements of River Flow Within the Central Chernozem Region. *Regional Geosystems*, 45(4): 617–631 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-617-631.
- Rumyantsev V.A., Koronkevich N.I. 2014. Strategic natural water resources in Russia. In: Strategic Resources and Conditions for Sustainable Development of the Russian Federation and Its Regions. Ed. V.M. Kotlyakov, A.A. Tishkov. M., Publ. Federalnoye gosudarstvennoye byudzhethnoye uchrezhdeniye nauki Institut geografii Rossiyskoy akademii nauk: 62–70 (in Russian).
- Stoyashcheva N.V. 2018. Assessment of Anthropogenic Load on Water Bodies of the Upper Ob Basin in Different Water Content Periods. *Bulletin of the Altay Branch of the Russian Geographical Society*, 4(51): 17–26 (in Russian).
- Fashhevskij B.V. 1989. *Ekologicheskoye obosnovaniye dopustimoy stepeni regulirovaniya rechnogo stoka* [Ecological substantiation of the permissible degree of river flow regulation]. Minsk, Publ. BelNIINTI, 51 p.
- Fashhevskij B.V. 1996. *Osnovy ekologicheskoy gidrologii* [Fundamentals of Ecological Hydrology]. Minsk, Publ. Ekoinvest, 240 p.
- Frolova N.L. 2012. Gidrologicheskie ograniicheniya prirodoopol'zovaniya [Hydrological restrictions on nature use]. In: *Geografo-gidrologicheskie issledovaniya* [Geographic and hydrological research]. Ed. by V.M. Kotlyakov, N.I. Koronkevich, E.A. Barabanova. Moscow, Publ. Kodeks: 456–478.
- Shiklomanov I.A., Babkin V.I., Nikiforova I.A. 2008. *Vodnye resursy Rossii i ih ispol'zovanie* = Water resources of Russia and their use [Water resources of Russia and their use = Water resources of Russia and their use]. Saint-Petersburg, Publ. Gosudarstvennyy gidrologicheskij institut, 596 p.
- Lisetskii F. 2021. Rivers in the Focus of Natural-Anthropogenic Situations at Catchments. *Geosciences*. [Switzerland], 11(2): 63. DOI: 10.3390/geosciences11020063.
- O'Keeffe J., Quesne T.L. 2009. *Keeping Rivers Alive: a Primer on Environmental Flows*. Washington, World Wildlife Fund, 39.
- Linnansaari T., Monk W.A., Baird D.J., Curry R.A. 2012. Review of Approaches and Methods to Assess Environmental Flows Across Canada and Internationally. *Canadian Science Advisory Secretariat*, 039: 1–74.
- Tharme R.E. 2003. A global perspective on environmental flow assessment emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications*, 19(5–6): 397–441. DOI: 10.1002/rra.736.
- Poff N.L. 1997. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. *Bioscience*, 47(11): 769–784.
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2015. Paris, The United Nations World Water Development Report, 122 p.

*Поступила в редакцию 14.03.2022;
поступила после рецензирования 29.03.2022;
принята к публикации 05.04.2022*

*Received March 14, 2022;
Revised March 29, 2022;
Accepted April 05, 2022*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Дмитриева Вера Александровна, доктор географических наук, доцент, профессор кафедры природопользования, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия

Vera A. Dmitrieva, Doctor of Geography, Associate Professor, Professor of the Department of Environmental Management, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation