

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ОПАСНОСТИ В ГИДРОСФЕРЕ  
ECOLOGICAL PROBLEMS AND HAZARDS IN THE HYDROSPHERE

УДК 504.45:504.38: 628.1

DOI: 10.34753/HS.2024.6.1.35

УРБОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ  
ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ  
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ  
В ВОДОСНАБЖЕНИИ МЕГАПОЛИСОВ

В.Н. Безносос<sup>1</sup>, А.Л. Суздалева<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> ООО НПО «Гидротехпроект», г. Санкт-Петербург, Россия; <sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», г. Москва, Россия  
SuzdalevaAL@yandex.ru

URBANIZATION CLIMATE ACTIONS  
TO PREVENT EMERGENCIES  
IN THE WATER SUPPLY  
OF MEGACITIES

Viktor N. Beznosov<sup>1</sup>, Antonina L. Suzdaleva<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> Scientific and Industrial Research Association "Gidrotehproekt", St. Petersburg, Russian Federation; <sup>2</sup> National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow Russian Federation  
SuzdalevaAL@yandex.ru

**Аннотация.** Недостаток воды для обеспечения водоснабжения мегаполисов и недопустимое снижение ее качества в распределительной водопроводной сети может иметь социальные и экономические последствия, которые позволяют рассматривать подобные явления как возникновение чрезвычайной ситуации. Основными причинами нарушения водоснабжения мегаполисов являются аномальные засухи и наводнения, сила и частота которых в период потепления климата постоянно возрастают. Для предотвращения событий такого рода необходима разработка и осуществление гидроклиматических проектов, позволяющих адаптировать водоснабжение мегаполисов к меняющимся условиям. Эту актуальную задачу можно решить только путем строительства трасс водноресурсной логистики, осуществляющих межрегиональное перераспределение водных ресурсов. Транспортировке подлежат паводковые воды, отвод которых позволяет избежать наводнений, наносящих значительный экономический и экологический ущерб. Для обозначения вод, которые могут быть перемещены в другой регион без ущерба для окружающей среды, предложен термин «мобильные водные ресурсы». Их объем должен определяться на основе результатов специальных

**Abstract.** Shortage of water for supply to megacities as well as unacceptable deterioration of its quality in the distribution water supply network may lead to social and economic implications that let one consider such phenomena as emergencies. The main causes of water supply disruption in megacities are abnormal droughts and floods which tend to show enhanced severity and frequency in the climate warming period. To prevent this, the development and implementation of hydroclimatic projects are required towards adapting the megacities' water supply system to the changing conditions. This pressing task can be solved only through the construction of water-resource logistic routes used to provide interregional redistribution of water resources. Floodwater which should be discharged to avoid floods that cause significant economic and environmental damage is to be exported. The term "mobile water resources" is proposed to denote water that can be moved to another region without environmental damage. The volume of water should be determined based on the results of a special hydrological investigation carried out taking into account the long-term dynamics of river runoff. To ensure the sustainable operation of water-resource logistic routes, it is necessary to arrange water depositories designed for the accumulation and storage of mobile water resources. This requires modernization of the existing storage

гидрологических исследований, проводимых с учетом многолетней динамики речного стока. Для обеспечения устойчивой работы трасс водноресурсной логистики необходимо создание водных депозитариев, предназначенных для накопления и хранения мобильных водных ресурсов. Это потребует модернизации режима существующих водохранилищ и создания новых искусственных водных объектов. Финансовые затраты на строительство трасс водноресурсной логистики не превысят ущерб, который могут нанести чрезвычайные ситуации, вызываемые нарушением водоснабжения мегаполисов. В настоящее время межрегиональное перераспределение вод осуществляется во многих странах. Некоторые из таких гидротехнических систем имеют трансграничный характер. На их основе формируется международный рынок водных ресурсов. Страны-экспортеры не только получают финансовую выгоду от продажи воды, но и укрепляют свое геополитическое положение. Если Российская Федерация, обладающая большим количеством мобильных водных ресурсов, создаст трассы водноресурсной логистики, она сможет стать одним из таких государств.

**Ключевые слова:** климатический проект; водный дефицит; водноресурсная логистика; мобильные водные ресурсы (МВР); экспорт воды; гидрогегемон.

### Введение

Водоснабжение крупных городов-мегаполисов, масштабы которых как в плане занимаемой площади, так и по плотности населения, неуклонно возрастают, является одним из наиболее уязвимых факторов, обеспечивающих необходимые условия для проживания в них людей [McDonald et al., 2016; He et al., 2021; Liu Y et al., 2024]. Весьма ощутимо это проявляется во время катастрофических природных явлений, например, землетрясений и ураганов [Balaci et al., 2020; Yu et al., 2024]. Последствия нарушения работы систем городского водоснабжения носят многоплановый и нередко катастрофический характер.

pools and the creation of new artificial water bodies. The financial costs required for the construction of water-resource logistic routes will not exceed the damage that could result from emergencies due to water supply disruptions in megacities. At present, interregional water redistribution is practised in many countries. Some of such hydroengineering systems have a transborder character. They form a basis for the international water-resource market. Exporting countries not only benefit financially from selling water but also strengthen their geopolitical position. If the Russian Federation, which has extensive mobile water resources, creates water-resource logistic routes, it can become one of those states.

**Keywords:** climate action; water deficiency; water-resource logistics; mobile water resources (MWR); water export; hydrohegemon.

Прекращение или резкое ограничение водоснабжения неизбежно вызывает нарушение работы систем водоотведения, в т.ч. бытовой канализации. Происходящее в результате этого накопление продуктов человеческой жизнедеятельности приводит к ухудшению санитарно-эпидемиологической обстановки. Кроме того, дефицит воды вызывает остановку работы различных предприятий, необходимых для жизнеобеспечения городского населения, прежде всего, производства пищевых продуктов. Неизбежным результатом этого становится резкое ухудшение условий жизни населения. Известны случаи, когда нарушение городского водоснабжения становилась причиной смерти

людей [Santa-Cruz et al., 2024]. Таким образом, подобные события с полным основанием можно рассматривать как чрезвычайные ситуации.

В настоящее время нарушения работы систем городского водоснабжения все чаще обусловлены глобальными изменениями климата, которые сопровождаются аномальными флуктуациями гидрометеорологических условий [Biswas et al., 2023; Liu Z et al., 2024; Dias, Ghisi, 2024]. Причиной могут являться как продолжительные засухи, так и сильные наводнения [Li et al., 2022; Stallkamp et al., 2022; Quandt et al., 2022; Maskey et al., 2023].

Риск возникновения чрезвычайных ситуаций в водоснабжении мегаполисов будет возрастать при дальнейшем развитии наблюдающихся тенденций в изменении климата. Это обуславливает необходимость превентивной разработки и осуществления соответствующих урбоклиматических проектов [Безносков и др., 2024], которые могли бы предотвратить подобные катастрофы. Целью статьи является анализ перспективных направлений этой деятельности.

### **Методологические и правовые основы разработки урбоклиматических проектов**

Климатические проекты (climate action) включают широкий спектр действий, целью которых является снижение неблагоприятного воздействия изменений климата на жизнедеятельность людей и окружающую среду. Во всех развитых странах, включая Российскую Федерацию, разработаны правовые акты, обеспечивающие государственную поддержку этой деятельности. Примером может служить национальный стандарт ГОСТ Р ИСО 14080-2021 «Управление парниковыми газами и связанные виды деятельности. Система подходов и методическое обеспечение реализации климатических проектов», содержание которого идентично международному стандарту ISO 14080:2018. При осуществлении климатических проектов используется два различных методологических подхода. Первый из них заключается в разработке мер по ограничению (корректировке) количества парниковых газов в атмосфере, выбросы которых сопровождают различные виды человеческой деятельности и, по мнению многих современных ученых, являются

причиной наблюдающегося глобального потепления. Второй методологический подход основан на приспособлении (адаптации) населения к изменяющимся условиям. В соответствии с этим климатические проекты можно разделить на коррекционные и адаптационные [Суздалева, 2023]. Следует отметить, что определение термина «адаптационный проект» также содержится в действующих нормативно-правовых актах. Под ним подразумевается любой проект, соответствующий основным целям устойчивого развития Российской Федерации (ГОСТ Р 70339-2022 ««Зеленые» стандарты. Финансирование строительной деятельности в целях устойчивого развития. Рамочные основы и принципы», пункт 3.1). В качестве таковых, согласно Распоряжению Правительства от 14 июля 2021 г. №1912-р «Цели и основные направления устойчивого (в том числе «зеленого») развития Российской Федерации», признаются любые действия по снижению негативных последствий изменения климата.

Урбоклиматические проекты – это адаптационные проекты, целью которых является обеспечение безопасности жизнедеятельности городского населения в условиях изменяющегося климата и возникновения чрезвычайных ситуаций, обусловленных данным фактором. Их разработку в сфере водоснабжения следует рассматривать как важнейшее направление реализации, получившей широкое распространение в современном мире концепции «адаптивного города» (resilient city). Согласно данной концепции, современные города должны быть превращены в системы, способные без существенного ущерба переносить любые стрессовые внешние воздействия (главным образом различные природные бедствия) на основе заблаговременно созданных механизмов, позволяющих адаптироваться к критическому изменению условий [Wu et al., 2022; HuiZenga et al., 2023].

Востребованность урбоклиматических проектов в сфере водоснабжения современных мегаполисов обусловлена тем, что наблюдающиеся глобальные изменения климата сопровождаются изменением водности речных бассейнов, на базе которых организованы

источники водоснабжения большинства этих городов. В одних регионах происходит снижение доступных запасов водных ресурсов в результате повторяющихся аномальных засух [AghaKouchak et al., 2022], приобретающих характер постоянных явлений, которые можно рассматривать как хронические чрезвычайные ситуации [Суздалева, Сидоренко, 2022]. В то же время в других регионах увеличивается частота катастрофических паводковых явлений, также приводящих к нарушению работы систем городского водоснабжения. Нередко возникает парадоксальная ситуация, когда при избыточном количестве воды в окружающей среде население испытывает острый дефицит воды, пригодной для питья и иных хозяйственно-бытовых целей. Кроме того, как засухи, так и наводнения обычно сопровождаются ухудшением санитарно-эпидемиологической обстановки [Эльпинер и др., 2007]. При подобном развитии событий они переходят из гидрометеорологических чрезвычайных ситуаций в категорию чрезвычайных ситуаций биолого-социального характера [Суздалева, 2022a].

Нехватка водных ресурсов, обусловленная глобальным потеплением, порождает кризисные явления не только в городах, но и в сельском хозяйстве, а также в сфере промышленного производства. Для решения данных проблем также должны разрабатываться климатические проекты [Суздалева, 2023]. Весьма актуальной задачей в этой области является принятие мер по недопущению утраты биоразнообразия в результате деградации природных экосистем, вызываемой изменением климатических условий. Высокая плотность населения мегаполисов и отсутствие у их жителей возможности самостоятельно обеспечить себя водой, необходимой для жизни, выдвигает проблему обеспечения их устойчивого водоснабжения на первый план.

### **Формы водного дефицита**

Основной задачей при возникновении практически любой чрезвычайной ситуации в городском водоснабжении является ликвидация водного дефицита, т.е. преодоление ситуации, при которой население не может получить воду,

пригодную для удовлетворения своих потребностей в необходимом для этого объеме.

Существует несколько форм водного дефицита [Суздалева, Горюнова, 2018], причины которых и способы предотвращения (ликвидации) принципиально различаются.

**1. Физический дефицит воды** обусловлен недостаточностью объема воды в источнике водоснабжения для обеспечения нормальных условий жизни населения и осуществления различных видов деятельности. В настоящее время это явление все более значимо проявляется на глобальном уровне и обозначается как «мировой кризис водопотребления». Его причина заключается в неуклонном росте народонаселения планеты при ограниченности доступных ресурсов пресной воды. В современных крупных городах физический дефицит усугубляется чрезвычайно высокой плотностью размещения людей. Именно этот фактор ограничивает развитие многих современных мегаполисов в условиях наблюдающихся изменений климата [McDonald et al., 2011]. Оптимальным решением проблемы является оперативное пополнение источника водоснабжения из водных объектов, расположенных в других регионах. Гидротехнические системы, осуществляющие необходимое для этого межбассейновое перераспределение вод, можно обозначить как трассы водноресурсной логистики [Суздалева, 2017]. Именно таким путем решается проблема развития мегаполиса Пекин-Тяньцзинь-Хэбэй (Beijing-Tianjin-Hebei – BTH) [Zhang et al., 2021]. Значительная часть его водоснабжения будет осуществляться за счет перемещения воды с юга страны. Существуют и иные способы решения проблемы, но все они имеют существенные недостатки. Например, строительство опреснителей может стать решением проблемы только в мегаполисах, расположенных на морских побережьях. Кроме того, показывает практика, что употребление такой воды негативно сказывается на здоровье людей [Nriagua et al., 2016]. В критических ситуациях можно доставлять бутилированную воду или подвозить ее в автоцистернах [Salehi, 2022]; в долгосрочной перспективе это не решает проблему водоснабжения больших масс населения.

Аналогичное заключение можно сделать как относительно проектов буксировки айсбергов из Антарктиды для получения пресной воды [Суздалева, Горюнова, 2018], так и ее конденсации из атмосферы [Szpak, Szczepanek, 2023].

**2. Химический дефицит воды** возникает при ухудшении ее качества до уровня, при котором употребление воды создает угрозу для здоровья человека. Подобные явления происходят, например, при залповых сбросах в источники водоснабжения вредных веществ. Загрязнение источников до недопустимого уровня нередко происходит и при наводнениях, сопровождающихся размывом хранилищ отходов или разгерметизацией резервуаров на промышленных предприятиях. Повышение загрязненности вод может наблюдаться и при засухе, когда при обычном уровне загрязнения объем «разбавляющих» вод снижается. Доставка населению воды, употребление которой может угрожать здоровью людей, крайне нежелательна. В Российской Федерации при возникновении подобной ситуации в соответствии со статьей 21 Федерального закона «О водоснабжении и водоотведении» от 07.12.2011 N416-ФЗ работа системы водоснабжения может быть временно прекращена. Но если загрязнение на водозаборе приобретает устойчивый характер, то подобные действия лишены смысла. Снизить уровень загрязненности этих водных объектов на современном этапе нереально. Поэтому люди многих крупных городов вынуждены употреблять воду, содержащую вещества, вредные для здоровья [Долгоносков, 2008; Сазонова, 2022]. Реальное решение проблемы в таких случаях возможно только на основе межрегионального перераспределения водных ресурсов.

**3. Санитарно-эпидемиологический дефицит воды** заключается в появлении в воде, поставляемой потребителю, опасных патогенов [Евтодиенко, Здольник, 2022], например, возбудителей холеры, гепатита, брюшного тифа и другие. Такие явления наблюдаются как при засухах, так и при наводнениях [Эльпинер и др., 2007]. Основными мерами по преодолению подобных чрезвычайных ситуаций являются дезинфекция вод, а также распространение среди

населения информации о необходимости обеззараживания воды перед ее использованием. Решением проблемы и в данном случае может стать переход на забор воды из другого незараженного источника.

**4. Инфраструктурный дефицит воды** является следствием неразвитости системы водоснабжения, т.е. недостаточностью элементов инфраструктуры для удовлетворения на должном уровне потребностей всего населения. Так, в крупных городах некоторых развивающихся стран существуют районы, на которые система централизованного водоснабжения не распространяется [Maskey et al., 2023]. Их жители используют воду, самостоятельно отбирая ее из различных водных объектов, нередко сильно загрязненных, или из источников, состояние которых не контролируется. Во многих случаях инфраструктурный дефицит вызван недостатком средств для создания объектов, необходимых для доставки населению городов воды и ее очистки. Поэтому в публикациях данное явление обозначается еще и как экономический дефицит (economic scarcity) воды [Quandt et al., 2022]. Решение данной проблемы ограничивается не только недостатком финансовых средств. В ряде мегаполисов развитие системы городского водоснабжения за счет ее расширения на базе доступных водных ресурсов невозможно вследствие их ограниченности. Как и при других формах водного дефицита, удовлетворить нужды населения можно только путем создания трасс водноресурсной логистики.

**5. Институциональный дефицит воды** порождается несоответствием реалий в сфере городского водоснабжения правовым нормам и правилам, которые регламентируют деятельность организаций, обеспечивающих население водой. Данную форму водного дефицита порождают не только бюрократические преграды. Весьма значимым фактором являются устаревшие стереотипы мышления, не позволяющие осознать необходимость разработки новых подходов к водоснабжению крупных городов в условиях глобального изменения климата. До середины XX в. проекты межбассейнового перераспределения вод интенсивно разрабатывались в СССР [Березнер, 1985]. Но затем в сознании населения прочно укоренилось

мнение о том, что межбассейновое перераспределение вод принесет непоправимый вред окружающей среде. Этот стереотип мышления сформировался в 70-е гг. XX в. при отказе от переброски паводковых вод сибирских рек в Центральноазиатский регион. При обсуждении целесообразности реализации данного проекта следует напомнить, что предусматриваемое им межрегиональное перераспределение водных ресурсов не было предметом международной торговли. Все запланированные гидротехнические сооружения являлись государственной собственностью и размещались в пределах СССР. В результате отказа от проекта современная Россия лишилась возможности получения значимого источника пополнения государственного бюджета и важнейшего инструмента геополитического влияния [Суздалева, 2020]. В массовом сознании это событие было воспринято как победа над советской бюрократией и приобрело ярко выраженную политическую окраску. Любые доводы о целесообразности возобновления данного проекта или осуществления каких-либо аналогичных действий до сих пор враждебно воспринимаются российским обществом. В других странах в сфере водоснабжения также существуют проблемы институционального характера [Quandt et al., 2022]. Но в большинстве из них население не воспринимает негативно проекты межрегионального перераспределения вод. Например, в США еще в конце XIX и начале XX вв., десятки крупных городов построили централизованные системы водоснабжения с подкачкой вод из отдаленных речных бассейнов [Turner et al., 2021]. Следует также вспомнить, что и в Российской Федерации существует системы межбассейнового перераспределения стока, и их функционирование не вызывает протестов общественности [Суздалева, 2022]. Через канал Иртыш-Караганда ежегодно перемещается 665–845 млн м<sup>3</sup>. Часть этого объема используется для водоснабжения столицы Казахстана г. Астаны. Другая, действующая в современной России международная трасса водноресурсной логистики, – это водовод «Кигач-Актау». Объем поставляемых по нему в Казахстан вод из низовьев Волги с 2000 по 2010 гг. увеличился с 20 до 31,1 млн м<sup>3</sup>. Это один из крупнейших в мире

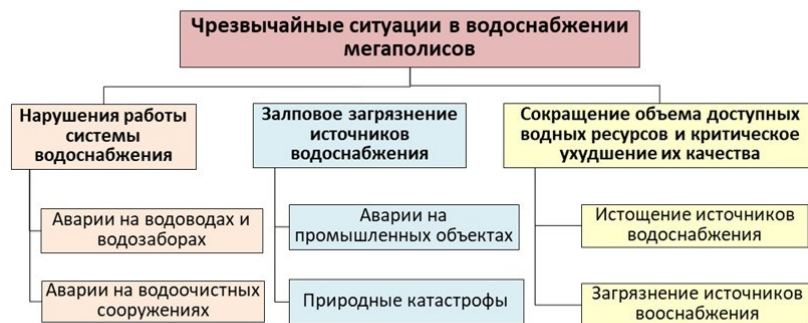
межгосударственных водоводов, протяженностью более 2 тыс. км. Существуют планы довести объем транспортируемых по нему вод до 95 млн м<sup>3</sup>/год. Интересно отметить тот факт, что если во времена СССР западные специалисты поддерживали борьбу с проектом по переброске паводковых вод сибирских рек и высказывали опасения относительно его экологических последствий, то XXI в. исследования по модернизации этой трассы водноресурсной логистики финансировались в рамках реализации программы Европейского союза «Оказание помощи Казахстану по переходу к модели «зеленой» экономики».

Формы водного дефицита нередко проявляются одновременно, обуславливая синергетически-резонансные эффекты. Истощение источников городского водоснабжения может происходить одновременно с ростом уровня их загрязненности. Вместе с тем различные формы водного дефицита развиваются и независимо друг от друга. По этой причине деятельность по предотвращению чрезвычайных ситуаций в водоснабжении мегаполисов должна предусматривать меры по предотвращению всех видов водного дефицита.

Чрезвычайные ситуации, обусловленные водным дефицитом, можно разделить на три категории (рисунок 1). Во-первых, это различные **нарушения работы системы городского водоснабжения**, например, аварии на водоводах, а также на водозаборных и водоочистных сооружениях, которые приводят к прекращению подачи воды или к недопустимому снижению ее качества. Возникший таким образом водный дефицит носит кратковременный характер. Снизить риск подобных событий можно осуществлением мер по снижению вероятности возникновения водного дефицита инфраструктурного и институционального характера, т.е. повышая надежность элементов систем водоснабжения и совершенствуя управления ими. Ко второй категории относятся **события, возникающие внезапно в результате залпового загрязнения источников водоснабжения**, например, при разрушении хранилищ токсичных отходов, захоронений патогенных материалов или резервуаров с

вредными веществами. Результатом становится возникновение физического, химического и санитарно-эпидемиологического водного дефицита. Это может произойти как в результате аварий на промышленных объектах, так и при различных природных катастрофах, в том числе спровоцированных потеплением климата (ураганов, селей и др.). Третья категория чрезвычайных ситуаций в системах водоснабжения мегаполисов связана с *сокращением объема доступных водных ресурсов и ухудшением их качества до критического уровня*, при котором существующие водоочистные сооружения не могут выполнять свою задачу. Такие события развиваются либо в виде истощения источников

водоснабжения, например, при возникновении хронической засухи, либо при возрастающем уровне загрязнения этих источников. Чрезвычайные ситуации третьей категории неизбежно приобретают затяжной характер. Учитывая численность населения мегаполисов, решить проблему водного дефицита подвозом воды автотранспортными средствами в этих условиях невозможно. Предотвратить масштабную социальную катастрофу или хотя бы смягчить ее последствия может только переход системы городского водоснабжения на другие источники водоснабжения. Создание условий для этого и является главной задачей урбоклиматических проектов.



**Рисунок 1.** Чрезвычайные ситуации в водоснабжении мегаполисов и обуславливающие их события  
**Figure 1.** Emergencies in the water supply of megacities and situations triggering them

### Урбоклиматические проекты в сфере водоснабжения мегаполисов

Как показывает опыт последних десятилетий угроза социальных катастроф, обусловленных возникновением чрезвычайных ситуаций в системах городского водоснабжения, неуклонно возрастает во многих регионах. Это связано как с потеплением климата, так и с ростом мегаполисов и усложнением их структуры. Даже если запас устойчивости систем водоснабжения ранее оказался достаточен для преодоления кризисной ситуации, то это не является гарантией надежности их работы при разрушительном воздействии аномальных гидроклиматических флуктуаций большего масштаба, вероятность возникновения которых весьма высока. В Москве не допустить перебоев водоснабжения населения в период летней засухи 2010 г. удалось на пределе существующих возможностей. Уровень воды в

подмосковных водохранилищах, являющих источником водоснабжения города, упал до критических значений. Обсуждался вопрос об их экстренном пополнении из других водотоков, например, из р. Оки. Подобные события могут возникнуть снова и сопровождаться негативными явлениями большего масштаба, которые превысят запас прочности системы водоснабжения московского мегаполиса. Решить данную проблему можно только на основе разработки и реализации урбоклиматического проекта, благодаря которому в нужный момент можно будет по трассе водноресурсной логистики доставить объем вод, достаточный для преодоления водного дефицита. В других случаях необходимо создать системы отвода паводковых вод, которые периодически в одних и тех же районах нашей страны наносят ущерб, оцениваемый в миллиарды рублей [Суздалева,

2020]. Кроме того, существуют крупные города, источники водоснабжения которых подвержены риску залпового загрязнения, которое неизбежно вызовет химический водный дефицит. Водоснабжение г. Хабаровска, осуществляется из р. Амур, в приток которой – р. Сунгари, протекающую по территории Китая, – уже неоднократно происходили крупномасштабные аварийные сбросы вредных веществ. Меры, позволяющие избежать их попадание в систему водоснабжения г. Хабаровска, разрабатывались в авральном порядке. Например, планировалось создать временно отгороженные от реки участки акватории, из которых мог бы осуществляться водозабор в городскую систему в период прохождения по р. Амур «пятна загрязнения». Не вызывает сомнений, что безопасность жизнедеятельности населения г. Хабаровска, нельзя надежно обеспечить подобными мерами временного характера. Для решения данной проблемы также необходимо создание водноресурсной трассы, способной обеспечить подключение города к иным источникам водоснабжения.

На реализацию подобных урбоклиматических проектов требуется время, в течение которого в городах будет возникать острый водный дефицит, приводящий к многоплановой чрезвычайной ситуации (социальной, экономической, санитарно-эпидемиологической). Несложно представить негативные последствия, обусловленные недостатком воды, например, при прекращении работы канализации в любой многоэтажной городской застройке. Кроме того, авральное решение проблемы в долгосрочной перспективе само по себе может иметь весьма нежелательные последствия. Поставка воды из расположенных поблизости, но сильно загрязненных водных объектов создаст угрозу для здоровья жителей. По этой причине осуществление урбоклиматических проектов должно происходить заблаговременно. Их целью является не устранение последствий возникшей чрезвычайной ситуации, а обеспечение безопасных условий жизни, устойчивого развития современного общества и адаптации к глобальным климатическим изменениям.

Поскольку чрезвычайные ситуации в городском водоснабжении в одних регионах возникают в условиях засухи, а в других их причиной являются наводнения, то закономерно возникает идея о комплексном решении проблемы на основе межбассейнового перераспределения водных ресурсов, т.е. перемещения водных ресурсов из регионов, где возникает их избыток, в регионы, испытывающие их острый недостаток. В период потепления климата востребованность урбоклиматических проектов подобного рода резко возросла. Их основой является межбассейновое перераспределение речного стока, получающее в современном мире все большее распространение [Shumilova et al., 2018; Siddik et al., 2023; Zhou et al., 2024]. Благодаря ему уже обеспечивается водоснабжение более 10 % современных городов [McDonald et al., 2014].

Практическая реализация подобного методологического подхода в условиях глобальных климатических изменений требует решения комплекса задач, направленных на обеспечение водоснабжения мегаполисов. Основными являются три задачи.

1. Создание на основе уже существующих гидротехнических систем трасс водноресурсной логистики, способных перемещать на значительные расстояния большие объемы вод [Суздалева, 2015; 2017].

2. Разработка законодательно-правовой основы для реализации таких проектов, как для деятельности, обеспечивающей устойчивое развитие человеческой цивилизации [Федоров, Суздалева, 2014].

3. Включение систем водоснабжения мегаполисов в формирующуюся структуру международного рынка водных ресурсов [Суздалева, Горюнова, 2014], что позволит заблаговременно планировать финансовые расходы, необходимые для преодоления кризисных ситуаций, и находить экономически целесообразные варианты экспорта-импорта водных ресурсов.

При разработке урбоклиматических проектов, основанных на межрегиональном перераспределении водных ресурсов, необходимо руководствоваться принципом презумпции экологической опасности

намечаемой деятельности, сформулированным в статье 3 Федерального закона «Об охране окружающей среды». Его практическая реализация предполагает, как и при создании любых иных трасс водноресурсной логистики, перемещение только паводковых вод – так называемых мобильных водных ресурсов (МВР), отвод которых не имеет негативных экологических последствий и вместе с тем снижает риск катастрофических наводнений [Суздалева, 2017]. Определение объема МВР в каждом конкретном случае должно устанавливаться на основе результатов специальных гидрологических исследований, проводимых с учетом многолетней динамики речного стока. Очевидно, что для обеспечения устойчивого водоснабжения необходимо создание водных депозитариев [Суздалева, 2022б], т.е. водохранилищ, в которых будет осуществляться накопление и хранение вод. Несомненно, во многих случаях такой водный депозитарий может быть создан только на значительном удалении от мегаполиса. Для доставки из него воды необходима прокладка водоводов или каналов, пересекающих различные естественные препятствия. Это один из доводов, выдвигаемых против целесообразности разработки подобных проектов. Однако не менее сложные условия возникали при проектировании нефте- и газопроводов, протяженность которых составляла сотни, а иногда и тысячи километров, и, несмотря на это, проекты успешно реализовывались. Обсуждая данный вопрос следует вспомнить о том, что без нефтепродуктов человек может существовать неограниченно долгое время, а без воды, как правило, не более суток. Экономический ущерб от затяжной чрезвычайной ситуации в системе водоснабжения мегаполиса и затраты на решение проблем, неизбежно порождаемых сопутствующей ему крупномасштабной катастрофой (эвакуацией огромного количества людей, обеспечением их жизнедеятельности и др.), будут сравнимы с финансовыми потерями от дестабилизации рынка нефтепродуктов. Кроме того, к настоящему времени уже накоплен значительный опыт решения разного рода проблем при прокладке трасс водноресурсной логистики. Отклоненный проект перемещения в центрально-азиатский

регион МВР из сибирских рек не только предполагал перемещение воды через десятки возвышенностей, но и включал строительство гидротехнических сооружений (дюкеров), позволяющих пересечь русла 194 водотоков, исключив смешивание их с транспортируемыми водами [Зиядуллаев и др., 1979]. Трубопроводы, обеспечивающие водоснабжения таких мегаполисов как Гонконг и Сингапур, проложены по дну моря [Суздалева, Горюнова, 2018]. Переговоры о прокладке аналогичных трасс водноресурсной логистики, подводные участки которых имели бы протяженность более 100 км, проводились между Ираном и Кувейтом, а также Турцией и Израилем [Суздалева, 2022б].

### **Структура трасс водноресурсной логистики**

В наиболее простом варианте трасса водноресурсной логистики, обеспечивающая дополнительное водоснабжение мегаполиса, должна включать нижеследующие элементы (рисунок 2).

**1. Первичные депозитарии МВР**, способные задерживать паводковые воды. Для этой цели целесообразно использовать существующие речные водохранилища, созданные на основе строительства подпорных гидротехнических сооружений, прежде всего, плотин ГЭС [Суздалева, 2015].

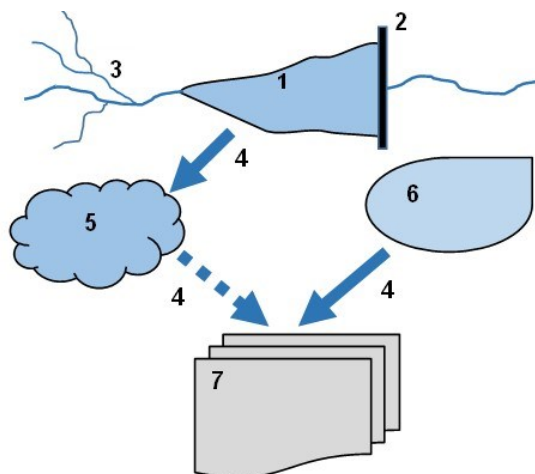
**2. Промежуточные депозитарии МВР**, в которые осуществляется отвод вод из речных водохранилищ, позволяющий избежать их переполнения и необходимость попусков. При разработке проекта переброски избыточной части стока сибирских рек для выполнения такой функции планировалось построить Тегизское водохранилище и использовать Туямуюнское водохранилище [Зиядуллаев и др., 1979]. Промежуточные депозитарии обеспечивают стабильность поставки необходимого мегаполису объема вод в период между паводками.

**3. Транспортирующие гидротехнические сооружения или коммуникации** (водоводы и каналы), соединяющие депозитарии с системой городского водоснабжения.

Для обеспечения работы трассы водноресурсной логистики также необходимо создание ряда инфраструктурных объектов –

насосных станций, шлюзов и др. На некоторых зарубежных системах межрегионального перераспределения вод также создавались

небольшие ГЭС, использующие энергию потока перемещаемых вод [Березнер, 1985].



**Рисунок 2.** Схема водноресурсной логистической цепочки: 1 – первичный депозитарий МВР; 2 – подпорное гидротехническое сооружение; 3 – водосборный бассейн первичного депозитария; 4 – гидротехнические коммуникации; 5 – промежуточный депозитарий МВР; 6 – первоначальный источник городского водоснабжения; 7 – территория мегаполиса

**Figure 2.** Scheme of the water-resource logistic chain: 1 – primary MWR depository; 2 – retaining hydraulic structure; 3 – catchwater basin of a primary depository; 4 – hydraulic engineering communications; 5 – transitional depository of mobile water resources; 6 – primary source of urban water supply; 7 – megacity area

Подобный простейший вариант межрегионального водоснабжения, который можно обозначить как водноресурсная логистическая цепочка [Суздалева, 2017; Суздалева, Горюнова, 2018], в значительной степени зависит от гидрологического режима бассейна-донора МВР. Его маловодность на протяжении длительного периода может привести к истощению депозитариев. Поэтому риск возникновения чрезвычайных ситуаций в системах водоснабжения мегаполисов значительно снижается при создании сетей водноресурсной логистики, включающих две и более функционально связанные цепочки, подпитывающиеся из первичных депозитариев, созданных в различных речных бассейнах (рисунок 3). На современном этапе, для которого характерны не только аномальные гидроклиматические флуктуации, но и высокий уровень их межгодовой изменчивости и пространственной локализации, такие системы перераспределения водных ресурсов позволят обеспечить устойчивое водоснабжения одновременно нескольких мегаполисов вне

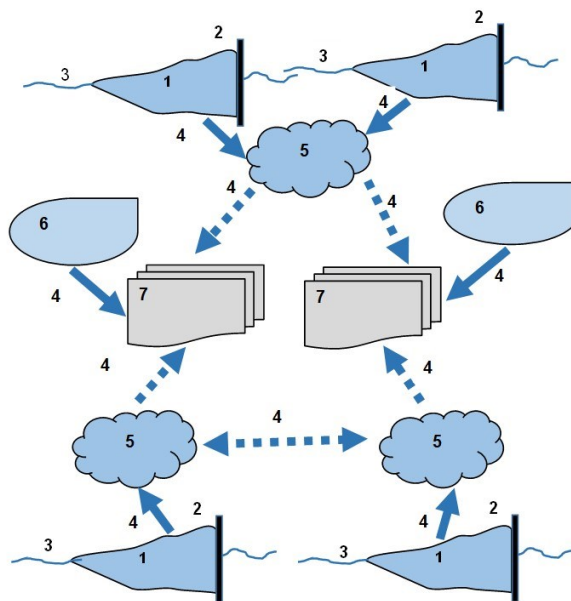
зависимости от водности одного из речных бассейнов-доноров в тот или иной год.

Получение мегаполисами воды из других регионов не исключает использование первоначальных источников водоснабжения. Напротив, учитывая необходимость финансовых затрат для оплаты поставок воды по трассам водноресурсной логистики, во многих случаях депозитарии, созданные в различных речных бассейнах, будут использоваться лишь как дополнительные, покрывающие возникающий водный дефицит. По этой причине на рисунках 2 и 3 гидротехнические коммуникации между промежуточными депозитариями и системами городского водоснабжения обозначены пунктирными линиями.

Водноресурсные логистические сети, способные одновременно обеспечивать устойчивое водоснабжение нескольких мегаполисов, могут возникнуть только как результат длительного поэтапного усложнения их структуры и увеличения их масштабов. Для реализации такого пути развития необходимо использование методологии восходящего проектирования (bottom-up approach). Она

заключается в создании объектов, изначально предназначенных для последующего объединения в единую систему из функционально взаимодействующих элементов. В рассматриваемом случае это подразумевает учет при создании цепочек водноресурсной логистики возможности их последующего включения в сети, обеспечивающие межрегиональное управления распределением

водных ресурсов. Конечным результатом этой деятельности могут стать сети водноресурсной логистики континентального уровня [Суздалева, Горюнова, 2018], способные противостоять угрозам в сфере водоснабжения мегаполисов в период глобально потепления, сопровождающегося аномальными гидроклиматическими флуктуациями.



**Рисунок 3.** Схема водноресурсной логистической сети. Обозначения те же что и на рисунке 2  
**Figure 3.** Scheme of the water-resource logistic network. The same designations are used as in Figure 2

Рассматривая проблемы создания и развития трасс водноресурсной логистики для водоснабжения мегаполисов, необходимо еще раз обратить внимание на связанные с ними вопросы институционального характера. Кризисные явления в сфере водоснабжения мегаполисов проявляются все в большем количестве регионов. Этот процесс неизбежен и обусловлен не только гидроклиматическими явлениями, но и такими неотъемлемыми атрибутами современной цивилизации, как урбанизация и стремительный рост народонаселения, которые приводят к возникновению и быстрому росту мегаполисов, особенно в странах так называемого Глобального Юга. Потребность в пресной воде, пригодной для хозяйственно-бытового употребления, во многих из них уже сейчас не может быть обеспечена собственными ресурсами. В тоже время существуют государства, которые без ущерба для себя могут экспортировать определенную часть принадлежащих им запасов воды. Они становятся

регуляторами международного рынка водных ресурсов, что не только приносит экономическую выгоду, но и укрепляет геополитические позиции. По этой причине государства, контролирующие поставки воды в другие страны, называются «гидрогегемонами» (hydro-hegemon) [Суздалева, 2017; 2020]. Ими стремятся стать КНР, США и страны ЕС, которые инвестировали огромные средства в строительство трасс водноресурсной логистики не только на своей территории, но и далеко за ее пределами с целью установить контроль за водоснабжением других государств и даже их региональных групп. Важнейшим аспектом данной деятельности является возможность управлять социальной обстановкой в мегаполисах этих стран и влиять на принятие политических решений.

Россия, обладающая огромными водными ресурсами, часть из которых можно обосновано отнести к МВР (особенно на фоне участившихся катастрофических наводнений), не приобретает

статус гегемона во многом по причине противодействия со стороны лиц и организаций, не желающих воспринимать существующие реалии в этой области и тенденции их развития. Отдаленность от стран глобально юга, в наибольшей степени испытывающих водный дефицит в период потепления климата, не является непреодолимым препятствием. Нефтегазопроводы, по которым из России транспортируются ресурсы углеводородного сырья, имеют сравнимую протяженность.

Для объективной оценки проблемы экологических аспектов трансграничной торговли водными ресурсами также следует вспомнить, что они, в отличие от экспортируемых Россией различных видов минерального сырья и нефтепродуктов, не являются скоплениями вещества, зафиксированного в определенных пластах земной коры, запасы которых ограничены. Водные ресурсы – это некоторая часть глобального круговорота воды, которая лишь в данный конкретный момент времени присутствует на том или ином участке поверхности планеты. Например, воды, наполняющие русло реки, за некоторое время до этого испарились с поверхности океана и выпали в виде осадков на территории водосборного бассейна. В конечном итоге через относительно небольшой промежуток времени практически весь объем речных вод возвращается в Мировой океан. В глобальной круговорот вовлечены и подземные воды. Таким образом, оценивая водные ресурсы страны, мы устанавливаем сток рек, вместимость котловин озер и водохранилищ, а также запасы водоносных пластов. С этой точки зрения строительство сетей водноресурсной логистики, в том числе осуществляемое в рамках урбоклиматических проектов в сфере водоснабжения мегаполисов, – это создание гидротехнических систем, предназначенных для

обеспечения устойчивого развития человечества [Федоров, Суздаева, 2014].

### Выводы

1. В период глобального потепления наблюдается тенденция увеличения частоты и масштабов гидроклиматических флуктуаций, вызывающих нарушение работы систем водоснабжения мегаполисов, последствия которых позволяют рассматривать такие события как чрезвычайные ситуации.

2. Для предотвращения крупномасштабных социальных катастроф необходимо заблаговременно разработать и реализовать урбоклиматические проекты, целью которых является обеспечение устойчивого водоснабжения крупных городов при наблюдающемся в период потепления климата изменении водности речных бассейнов.

3. В качестве урбоклиматических проектов, осуществляемых для предотвращения чрезвычайных ситуаций в водоснабжении мегаполисов, следует рассматривать строительство трасс водноресурсной логистики, по которой вода из регионов, обладающих избытком водных ресурсов, перемещается в регионы, испытывающие их дефицит.

4. Межбассейновому (межрегиональному) перемещению при создании трасс водноресурсной логистики подлежат только паводковые воды, вызывающие наводнения, наносящие значительный экономический и экологический ущерб.

5. Российская Федерация, обладая большими запасами водных ресурсов, должна стать полноценным участником формирующегося международного рынка водных ресурсов и войти в число стран-гегемонов, осуществляющих проектирование и строительство трансграничных трасс водноресурсной логистики.

### Литература

Безносков В.Н., Суздаева А.Л., Алборов И.Д., Цховребов Э.С., Филиппова О.П., Лолаев А.Б. Проблемы экологической безопасности техногенных объектов в условиях деградации многолетней мерзлоты // Вестник евразийской

### References

AghaKouchak A., Chiang F., Huning L.S., Love C.A., Mallakpour I., Mazdiyasnani O., Moftakhari H., Papalexiou S.M., Ragno E., Sadegh M. Climate Extremes and Compound Hazards in a Warming World. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2020, vol. 48, pp. 519–548.

- науки. 2024. Т. 16. № 2. URL: <https://esj.today/PDF/98SAVN224.pdf>.
- Березнер А.С. Территориальное перераспределение речного стока европейской части РСФСР. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 160 с. <http://cawater-info.net/library/rus/hist/berezner.pdf>.
- Долгоносков Б.М. Барьерная роль водопроводных станций в условиях повышенного загрязнения водоисточников // Водоочистка. 2008. № 2. С. 59–68. <https://www.elibrary.ru/tlmpmf>.
- Евтодиенко А.М., Здольник Т.Д. Биологическая контаминация воды водных объектов России и ее эпидемиологическое значение // Российский вестник гигиены. 2022. № 2. С. 8–12. DOI: 10.24075/rbh.2022.046.
- Зиядуллаев С.К., Лапкин К.И., Пугачев А.В., Рахимов Э.Д. Социально-экономические проблемы переброски части стока сибирских рек в Среднюю Азию и Казахстан. Ташкент: Изд-во «Фан», 1979. 63 с. <http://cawater-info.net/library/hist-s.htm>.
- Сазонова О.В., Тупикова Д.С., Рязанова Т.К., Гаврюшин М.Ю., Фролова О.В., Трубецкая С.Р. К оценке качества питьевого водоснабжения различных регионов Российской Федерации // Российский вестник гигиены. 2022. № 2. С. 4–7. DOI:10.24075/rbh.2022.043.
- Суздалева А.Л. Гидротехническое строительство при организации рынка ресурсов пресной воды // Гидротехническое строительство. 2015. № 9. С. 48–54. <https://www.elibrary.ru/uzmkij>.
- Суздалева А.Л. Водноресурсная логистика: международные аспекты // Мировая экономика и международные отношения. 2017. Т. 61. № 11. С. 5–12. DOI:10.20542/0131-2227-2017-61-11-5-12.
- Суздалева А.Л. Россия и глобальный водный кризис // Мировая экономика и международные отношения. 2020. Т.64. №4. С. 53–59. DOI:10.20542/0131-2227-2020-64-4-53-59.
- Суздалева А.Л. Биолого-социальные чрезвычайные ситуации // Естественные и технические науки. 2022а. № 8(171). С. 114–115. DOI:10.25633/ETN.2022.08.08.
- Суздалева А.Л. Строительство водных депозитариев // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2022б. № 1. С. 13–19. DOI:10.31857/S0869780922010131.
- <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-earth-071719-055228>.
- Balaei B., Wilkinson S., Potangaroa R., McFarlane P. Investigating the technical dimension of water supply resilience to disasters. *Sustainable Cities and Society*, 2020, vol. 56, 102077. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670720300640>.
- Berezner A.S. *Territorial'noe pereraspredelenie rechnogo stoka evropejskoj chasti RSFSR [Territorial redistribution of river flow in the European part Russian Soviet Federative Socialist Republic]*. L.: Gidrometeoizdat, 1985. 160 p. <http://cawater-info.net/library/rus/hist/berezner.pdf>.
- Beznosov V.N., Suzdaleva A.L., Alborov I.D., Tshovrebov E.S., Filippova O.P. Lolaev A.B. Problems of ecological safety of anthropogenic objects in the conditions of permafrost degradation. *The Eurasian Scientific Journal*, 2024, no. 16(2) <https://esj.today/PDF/98SAVN224.pdf>.
- Biswas R.R., Sharma R., Gyasi-Agyei Y., Rahman A. Urban water security: water supply and demand management strategies in the face of climate change. *Urban water journal*, 2023, vol. 20, no. 6, pp. 723–737. DOI:10.1080/1573062X.2023.2209549.
- Dias T.F., Ghisi E. Urban Water Consumption: A Systematic Literature Review. *Water*, 2024, vol. 16, 838.
- Dolgonosov B.M. Barrier role of water supply stations in conditions of increased pollution of water sources. *Water purification*, 2008, no. 2, pp. 59–68. <https://www.elibrary.ru/tlmpmf>.
- Elpiner, L.I., Bear, S.A., Zektser, I.S. et al. The effect of water abundance in a territory on the population health. *Water Resource*, 2007, vol. 34, pp. 340–349 DOI:10.1134/S0097807807030128.
- Evtodienko A.M., Zdolnik T.D. Biological contamination of water in Russian water bodies and its epidemiological significance. *Russian bulletin of hygiene*, 2022, no. 2, pp. 8–12. DOI:10.24075/rbh.2022.046.
- Fedorov M.P., Suzdaleva A.L. Hydrotechnical construction as a basis for sustainable development. *Hydrotechnical construction*, 2014, no. 11, pp. 27–30. <https://www.elibrary.ru/talpwr>.
- He C., Liu Z., Wu J., Pan X., Fang Z., Li J., Bryan B.A. Future global urban water scarcity and potential

- Суздалева А.Л. Климатические проекты: основные виды и их результативность // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15. № 1. URL: <https://esj.today/PDF/20NZVN123.pdf>.
- Суздалева А.Л., Горюнова С.В. Экологические основы формирования международного рынка ресурсов пресной воды // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия экология и безопасность жизнедеятельности. 2014. № 4. С. 85–98. <https://www.elibrary.ru/sykqqr>.
- Суздалева А.Л., Горюнова С.В. Мировой кризис водопотребления: проблемы обеспечения безопасности жизнедеятельности и охраны окружающей среды: монография. М.: МГПУ, 2018. 172 с. <https://www.elibrary.ru/ghfhbs>.
- Суздалева А.Л., Сидоренко А.В. Периодические и хронические чрезвычайные ситуации, обусловленные глобальным потеплением // Естественные и технические науки. 2022. №12(175). С.359–360. <https://www.elibrary.ru/dqbwmf>.
- Федоров М.П., Суздалева А.Л. Гидротехническое строительство как основа устойчивого развития // Гидротехническое строительство. 2014. №11. С.27–30. <https://www.elibrary.ru/talpwrr>.
- Эльпинер Л.И., Беэр С.А., Зекцер И.С., Клуге Р.К., Шаповалов А.Е. Влияние обводненности территории на здоровье населения // Водные ресурсы. 2007. Т. 34. № 3. С. 364–374. <https://www.elibrary.ru/iagplt>.
- AghaKouchak A., Chiang F., Huning L.S., Love C.A., Mallakpour I., Mazdiyasnani O., Mofstakhari H., Papalexioiu S.M., Ragno E., Sadegh M. Climate Extremes and Compound Hazards in a Warming World // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. 2020. V. 48. P. 519–548. <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-earth-071719-055228>.
- Balaei B., Wilkinson S., Potangaroa R., McFarlane P. Investigating the technical dimension of water supply resilience to disasters // Sustainable Cities and Society. 2020. V. 56. 102077. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670720300640>.
- Biswas R.R., Sharma R., Gyasi-Agyei Y., Rahman A. Urban water security: water supply and demand management strategies in the face of climate change // Urban water journal. 2023. V. 20. N 6. P. 723–737. DOI:10.1080/1573062X.2023.2209549.
- solutions. *Nature communications*, 2021, vol. 12, 4667. DOI:10.1038/s41467-021-25026-3.
- Huizenga S., Oldenhof L., van de Bovenkamp H., Bal R. Governing the resilient city: An empirical analysis of governing techniques. *Cities*, 2023, vol. 135, 104237. <https://ssrn.com/abstract=4034017>.
- Li Z., Zhao H., Liu J., Zhang J., Shao Z. Evaluation and promotion strategy of resilience of urban water supply system under food and drought disasters. *Scientific Reports*, 2022, vol. 12, 7404. DOI:10.1038/s41598-022-11436-w.
- Liu Y., Zheng H., Zhao J. Reframing water demand management: a new co-governance framework coupling supply-side and demand-side solutions toward sustainability. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2024, vol. 28, pp. 2223–2238. DOI:10.5194/hess-28-2223-2024.
- Liu Z., Ying J., He C., Guan D., Pan X., Dai Y., Gong B., He K., Lv C., Wang X., Lin J., Liu Y., Bryan B.A. Scarcity and quality risks for future global urban water supply. *Landscape Ecology*, 2024, vol. 39, 10. DOI:10.1007/s10980-024-01832-0.
- Maskey G., Pandey, C.L., Giri M. Water scarcity and excess: water insecurity in cities of Nepal. *Water Supply*, 2023, vol. 23, no. 4, pp. 1544–1556. <https://iwaponline.com/ws/article/23/4/1544/94014/Water-scarcity-and-excess-water-insecurity-in>.
- McDonald R.I., Green P., Balk D., Fekete B.M., Revenga C., Todd M., Montgomery M. Urban growth, climate change, and freshwater availability. *PNAS*, 2011, vol. 108, no. 15, pp. 6312–6317. DOI:10.1073/pnas.1011615108.
- McDonald R.I., Weber K., Padowski J., Florke M., Schneider C., Green P. A., Gleeson T., Eckman S., Lehner B., Balk D., Boucher T., Grill G., Montgomery M. Water on an urban planet: Urbanization and the reach of urban water infrastructure. *Global Environ. Change*, 2014, vol. 27, pp. 96–105. DOI:10.1016/j.gloenvcha.2014.04.022.
- McDonald R.I., Weber K.F., Padowski J., Boucher T., Shemie D. Estimating watershed degradation over the last century and its impact on water-treatment costs for the world's large cities. *PNAS*, 2016, vol. 113, no. 32, pp. 9117–9122. DOI:10.1073/pnas.1605354113.
- Nriagua J., Darroudi F., Shomar B. Health effects of desalinated water: Role of electrolyte disturbance in cancer development. *Environmental*

- Dias T.F., Ghisi E. Urban Water Consumption: A Systematic Literature Review // *Water*. 2024. V. 16. 838. DOI:10.3390/w16060838.
- He C., Liu Z., Wu J., Pan X., Fang Z., Li J., Bryan B.A. Future global urban water scarcity and potential solutions // *Nature communications*. 2021. V. 12. 4667. DOI:10.1038/s41467-021-25026-3.
- Huizenga S., Oldenhof L., van de Bovenkamp H., Bal R. Governing the resilient city: An empirical analysis of governing techniques // *Cities*. 2023. V. 135. 104237. <https://ssrn.com/abstract=4034017>.
- Li Z., Zhao H., Liu J., Zhang J., Shao Z. Evaluation and promotion strategy of resilience of urban water supply system under food and drought disasters // *Scientific Reports*. 2022. V. 12. 7404. DOI:10.1038/s41598-022-11436-w.
- Liu Y., Zheng H., Zhao J. Reframing water demand management: a new co-governance framework coupling supply-side and demand-side solutions toward sustainability // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2024. V. 28. P. 2223–2238. DOI:10.5194/hess-28-2223-2024.
- Liu Z., Ying J., He C., Guan D., Pan X., Dai Y., Gong B., He K., Lv C., Wang X., Lin J., Liu Y., Bryan B.A. Scarcity and quality risks for future global urban water supply // *Landscape Ecology*. 2024. V. 39. 10. DOI:10.1007/s10980-024-01832-0.
- Maskey G., Pandey, C.L., Giri M. Water scarcity and excess: water insecurity in cities of Nepal // *Water Supply*. 2023. V. 23. N. 4. P. 1544–1556. <https://iwaponline.com/ws/article/23/4/1544/94014/Water-scarcity-and-excess-water-insecurity-in>.
- McDonald R.I., Green P., Balk D., Fekete B.M., Revenga C., Todd M., Montgomery M. Urban growth, climate change, and freshwater availability // *PNAS*. 2011. V. 108. N. 15. P. 6312–6317. DOI:10.1073/pnas.1011615108.
- McDonald R.I., Weber K., Padowski J., Florke M., Schneider C., Green P. A., Gleeson T., Eckman S., Lehner B., Balk D., Boucher T., Grill G., Montgomery M. Water on an urban planet: Urbanization and the reach of urban water infrastructure // *Global Environ. Change*. 2014. V. 27. P. 96–105. DOI:10.1016/j.gloenvcha.2014.04.022.
- McDonald R.I., Weber K.F., Padowski J., Boucher T., Shemie D. Estimating watershed degradation over the last century and its impact on water-treatment costs for the world's large cities // *PNAS*. 2016. V. 113. N. 32. P. 9117–9122. DOI:10.1073/pnas.1605354113.
- Research, 2016, vol. 150, pp. 191–204. DOI:10.1016/j.envres.2016.05.038.
- Quandt A., O'Shea B., Oke S., Ololade O.O. Policy interventions to address water security impacted by climate change: Adaptation strategies of three case studies across different geographic regions. *Front. Water*, 2022, no. 4, 935422. DOI:10.3389/frwa.2022.935422.
- Salehi M. Global water shortage and potable water safety; Today's concern and tomorrow's crisis. *Environment International*, 2022, vol. 158, 106936. DOI:10.1016/j.envint.2021.106936.
- Santa-Cruz S., Fernández de Córdova G., Vilela M., Pajuelo J., Santa-María M., Muñoz K. Spatial analysis for water supply in seismic emergencies: the Lima-Callao metropolitan area. *Front. Built Environ*, 2024, vol. 10, 1385476. DOI:10.3389/fbuil.2024.1385476.
- Sazonova O.V., Tupikova D.S., Ryazanova T.K., Gavryushin M.Yu., Frolova O.V., Trubetskaya S.R. Assessing quality of drinking water supply in different regions of the Russian Federation. *Russian bulletin of hygiene*, 2022, no. 2, pp. 4–7. DOI:10.24075/rbh.2022.043.
- Shumilova O., Tockner K., Thieme M., Koska A., Zarfl C. Global Water Transfer Megaprojects: A Potential Solution for the Water-Food-Energy Nexus? *Frontiers in Environmental Science*, 2018, vol. 6, 150. DOI:10.3389/fenvs.2018.00150.
- Siddik M.A.B., Dickson K.E., Rising J., Ruddell B.L., Marston L.T. Interbasin water transfers in the United States and Canada. *Scientific Data*, 2023, vol. 10, 27. DOI:10.1038/s41597-023-01935-4.
- Stallkamp C., Diehlmann F., Lüttenberg M., Wiens M., Volk R., Schultmann F. On the combination of water emergency wells and mobile treatment systems: a case study of the city of Berlin. *Annals of Operations Research*, 2022, vol. 319, pp. 259–290. DOI:10.1007/s10479-020-03800-8.
- Suzdaleva A. Russia and global water crisis. *World economy and international relations*, 2020, vol. 64, no. 4, pp. 53–59. DOI:10.20542/0131-2227-2020-64-4-53-59.
- Suzdaleva A. Water resources logistics: international dimension. *World economy and international relations*, 2017, vol. 61, no. 11, pp. 5–12. DOI:10.20542/0131-2227-2017-61-11-5-12.

- Nriagua J., Darroudi F., Shomar B. Health effects of desalinated water: Role of electrolyte disturbance in cancer development // *Environmental Research*. 2016. V. 150. P. 191–204. DOI:10.1016/j.envres.2016.05.038.
- Quandt A., O'Shea B., Oke S., Ololade O.O. Policy interventions to address water security impacted by climate change: Adaptation strategies of three case studies across different geographic regions // *Front. Water*. 2022. N 4. 935422. DOI:10.3389/frwa.2022.935422.
- Salehi M. Global water shortage and potable water safety; Today's concern and tomorrow's crisis // *Environment International*. 2022. V. 158. 106936. DOI:10.1016/j.envint.2021.106936.
- Santa-Cruz S., Fernández de Córdoba G., Vilela M., Pajuelo J., Santa-María M., Muñoz K. Spatial analysis for water supply in seismic emergencies: the Lima-Callao metropolitan area // *Front. Built Environ*. 2024. V. 10. 1385476. DOI:10.3389/fbuil.2024.1385476.
- Shumilova O., Tockner K., Thieme M., Koska A., Zarfl C. Global Water Transfer Megaprojects: A Potential Solution for the Water-Food-Energy Nexus? // *Frontiers in Environmental Science*. 2018. V. 6. 150. DOI:10.3389/fenvs.2018.00150.
- Siddik M.A.B., Dickson K.E., Rising J., Ruddell B.L., Marston L.T. Interbasin water transfers in the United States and Canada // *Scientific Data*. 2023. V. 10. 27. DOI:10.1038/s41597-023-01935-4.
- Stallkamp C., Diehlmann F., Lüttenberg M., Wiens M., Volk R., Schultmann F. On the combination of water emergency wells and mobile treatment systems: a case study of the city of Berlin // *Annals of Operations Research*. 2022. V. 319. P. 259–290. DOI:10.1007/s10479-020-03800-8.
- Szpak D., Szczepanek A. A new method of water supply in crisis situation // *Water*. 2023. V. 15. 3160. DOI:10.3390/w15173160.
- Turner S.W.D., Rice J.S., Nelson K.D., Vernon C.R., McManamay R., Dickson K., Marston L. Comparison of potential drinking water source contamination across one hundred U.S. cities // *Nature communications*. 2021. V. 12. 7254. DOI:10.1038/s41467-021-27509-9.
- Wu C., Cenci J., Wang W., Zhang J. Resilient City: Characterization, Challenges and Outlooks // *Buildings*. 2022. V. 12. 516. DOI:10.3390/buildings12050516.
- Yu T., Lu B., Jiang H., Liu Z. Study on seismic risk assessment model of water supply systems in mainland China. *Natural Hazards Earth System Science*, 2024, vol. 24, pp. 803–822. DOI:10.5194/nhess-24-803-2024.
- Zhang Z., Shi M., Chen K.Z., Yang H., Wang S. Water scarcity will constrain the formation of a world-
- Suzdaleva A.L. Biosocial emergencies. *Natural and technical sciences*, 2022a, no. 8(171), pp. 114–115. DOI:10.25633/ETN.2022.08.08.
- Suzdaleva A.L. Climate actions: main types and their effectiveness. *The Eurasian scientific journal*. 2023; no. 15(1). <https://esj.today/PDF/20NZVN123.pdf>. <https://esj.today/PDF/20NZVN123.pdf>.
- Suzdaleva A.L. Construction of water storage facilities // *Geoekologiya. Inzheneraya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 2022b, no. 1, pp. 13–19. DOI:10.31857/S0869780922010131.
- Suzdaleva A.L. Hydrotechnical construction in the organization of the fresh water resources market. *Hydrotechnical construction*, 2015, no. 9, pp. 48–54. <https://www.elibrary.ru/uzmkij>.
- Suzdaleva A.L., Goryunova S.V. Ecological foundations of international fresh water resources market formation. *RUDN journal of ecology and life safety*, 2014, no. 4, pp. 85–98. <https://www.elibrary.ru/syqqqp>.
- Suzdaleva A.L., Goryunova S.V. *Global water crisis: life safety and environmental protection*. Moscow. Moscow city pedagogical university Publishing, 2018. 172 p. <https://www.elibrary.ru/ghfhbs>.
- Suzdaleva A.L., Sidorenko A.V. Periodic and chronic global warming emergencies. *Natural and technical sciences*, 2022, no. 12(175), pp. 359–360. <https://www.elibrary.ru/dqbwmf>.
- Szpak D., Szczepanek A. A new method of water supply in crisis situation. *Water*, 2023, vol. 15, 3160. DOI:10.3390/w15173160.
- Turner S.W.D., Rice J.S., Nelson K.D., Vernon C.R., McManamay R., Dickson K., Marston L. Comparison of potential drinking water source contamination across one hundred U.S. cities. *Nature communications*, 2021, vol. 12, 7254. DOI:10.1038/s41467-021-27509-9.
- Wu C., Cenci J., Wang W., Zhang J. Resilient City: Characterization, Challenges and Outlooks. *Buildings*, 2022, vol. 12, 516. DOI:10.3390/buildings12050516.
- Yu T., Lu B., Jiang H., Liu Z. Study on seismic risk assessment model of water supply systems in mainland China. *Natural Hazards Earth System Science*, 2024, vol. 24, pp. 803–822. DOI:10.5194/nhess-24-803-2024.
- Zhang Z., Shi M., Chen K.Z., Yang H., Wang S. Water scarcity will constrain the formation of a world-

- Yu T., Lu B., Jiang H., Liu Z. Study on seismic risk assessment model of water supply systems in mainland China // *Natural Hazards Earth System Science*. 2024. V. 24. P. 803–822. DOI:10.5194/nhess-24-803-2024.
- Zhang Z., Shi M., Chen K.Z., Yang H., Wang S. Water scarcity will constrain the formation of a world-class megalopolis in North China // *NPJ Urban Sustainability*. 2021. V. 1. 13. DOI:10.1038/s42949-020-00012-8.
- Zhou B.-Y., Fang G.-H., Li X., Zhou J., Zhong H.-Y. Joint optimal operation of the South-to-North Water Diversion Project considering the evenness of water deficit // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2024. V. 28. P. 817–832. DOI:10.5194/hess-28-817-2024.
- Ziyadullaev S.K., Lapkin K.I., Pugachev A.V., Rahimov E.H.D. *Social'no-ehkonomicheskie problemy perebroski chasti stoka sibirskih rek v Srednyuyu Aziyu i Kazahstan [Social and Economic Problems of Transfer of a Part of a Drain of the Siberian Rivers to Central Asia and Kazakhstan]*. Tashkent: Fan Publishing, 1979. 63 p. <http://cawater-info.net/library/hist-s.htm>.