

ПРОБЛЕМЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ БЕЛАРУСИ

А. А. Волчек

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
volchak@tut.by

Аннотация

Статья посвящена проблемам водных ресурсов Беларуси. Дана оценка поверхностных вод. Рассмотрены возможные последствия изменения речного стока в связи с изменением климата и антропогенными воздействиями. Представлены результаты анализа водопотребления Республики Беларусь и даны прогнозные оценки развития водопотребления. Оценены экологические риски и обозначены первоочередные задачи исследований по решению водных проблем страны.

Ключевые слова: водные ресурсы, риски, наводнения, маловодье, гидрохимия, прогноз.

PROBLEMS OF WATER RESOURCES IN BELARUS

A. A. Volchak

Abstract

The article is devoted to the problems of water resources in Belarus. The assessment of surface waters is given. The possible consequences of changes in river flow due to climate change and anthropogenic impacts are considered. The results of the analysis of water runoff in the Republic of Belarus are presented and forecast estimates of the development of water runoff are given. Environmental risks are assessed and priority tasks of research on solving the country's water problems are identified.

Keywords: water resources, risks, floods, low water, hydrochemistry, forecast.

Введение. Водные ресурсы являются главным природным ресурсом любой страны, т.к. состояние и развитие биосферы и человеческого общества, находятся в тесной зависимости от их состояния. В тоже время с водными ресурсами связано ряд проблем как глобального, так и локального характера. Водные проблемы можно разделить на четыре группы: избыток воды (наводнения), недостаток воды (маловодья и засухи), неудовлетворительное качество и не соответствие водного режима оптимальному функционированию экосистем и хозяйственных объектов. В глобальном аспекте первая и вторая проблемы сопровождают человечество с древних времен, а третья и четвертая порождены XX веком. Все эти проблемы в той или иной степени присущи и Беларуси.

Материалы и методы. Методологической основой исследований явились научные положения о стохастической природе речного стока, что позволило применить статистические методы анализа временных рядов. Используются методы водного и теплоэнергетического баланса, математического моделирования. Системный анализ накопленной информации и сравнительно-географический метод позволили синтезировать закономерности пространственно-временных колебаний водных ресурсов и объективно оценить связанные с ними риски.

Беларусь располагается на водоразделе бассейнов Балтийского и Черного морей, на территории которой насчитывается около 20,8 тыс. рек общей протяженностью 90,6 тыс. км и 10,8 тыс. озер, кроме того, создано 153 водохранилища различного назначения. Реки принадлежат к равнинному типу с преобладанием элементов снегового питания [1].

Исходными данными послужили материалы наблюдений республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь за стоком рек по 122 створам для характерных расходов: среднегодовые, максимальные весеннего половодья, минимальные летне-осенние и минимальные зимние за период с 1953 по 2018 гг. Количество гидрологических постов, использованных в настоящем исследовании, достаточно для получения результатов с требуемой для решаемых задач точностью [2]. Кроме того по 5 рекам (Припять в створе г. Мозырь, Неман в створе г. Гродно, Западная Двина в створе г. Витебск, Березина в створе г. Бобруйск, Днепр в створах г. Орша и г. Речица) анализировались гидрологические ряды за период с 1877 по 2018 гг., т.е. 142 года. На предварительном этапе проведен статистический анализ, восстановлены пропущенные данные с помощью программного комплекса «Гидролог-2» [3]. Для исследования влияния современного потепления климата выполнен сравнительный анализ двух интервалов: 1877 – 1986 гг. до начала потепления и 1987 – 2018 гг. собственно период потепления. Кроме того, отдельно анализировались ряды наблюдений за последние 50 лет (1969 – 2018 гг.), т.е. расчетный период, рекомендуемый для определения статистических характеристик и построения математических моделей прогнозирования стока рек Беларуси.

В основе комплексного анализа динамики водопотребления и использования воды в Республике Беларусь положены материалы водохозяйственной статистики из статистических сборников за период с 1990 по 2020 гг. [4].

Анализ качества природных вод осуществлялся по данным Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь за период с 1991 по 2020 гг. по показателям: содержание в воде растворенного кислорода, никеля, нефтепродуктов, железа, меди, цинка, фосфат-ион, нитрит-ион, аммоний-ион, синтетические поверхностные активные вещества (СПАВ), индекс загрязнения воды (ИЗВ), биохимическое потребление кислорода за 5 суток (БПК₅). Основным критерием для оценки физико-химического качества поверхностных вод Беларуси является предельно допустимая концентрация (ПДК) химических веществ, устанавливаемая для водных объектов различной категории. В 2020 году мониторинг поверхностных вод проводился на 118 поверхностных объектах (80 водотоках и 38 водоемах). Большинство пунктов наблюдения располагается в пределах населенных пунктов и промышленных зон, т.е. на водотоках и водоемах, находящихся под наиболее сильным воздействием сконцентрированных источников загрязнения.

Результаты и обсуждение. Ресурсы поверхностных вод. В связи с тем, что в современных условиях, под воздействием естественных и антропогенных

факторов, происходят изменения речного стока, полученные результаты за 50-летний период сопоставлялись с данными за период с начала инструментальных наблюдений. Количественная оценка водных ресурсов Беларуси показала, что суммарные поверхностные ресурсы Беларуси практически не изменились [5, 6]. В то же время произошло перераспределение естественных водных ресурсов по бассейнам основных рек. Наряду с увеличением стока Припяти и незначительным ростом водности Западной Двины отмечено уменьшение поверхностных вод остальных речных систем страны за последние годы. Отмечен рост ресурсов поверхностных вод Брестской и Гомельской областей, а для Гродненской области характерно уменьшение водных ресурсов ввиду снижения водности Немана и Вилии.

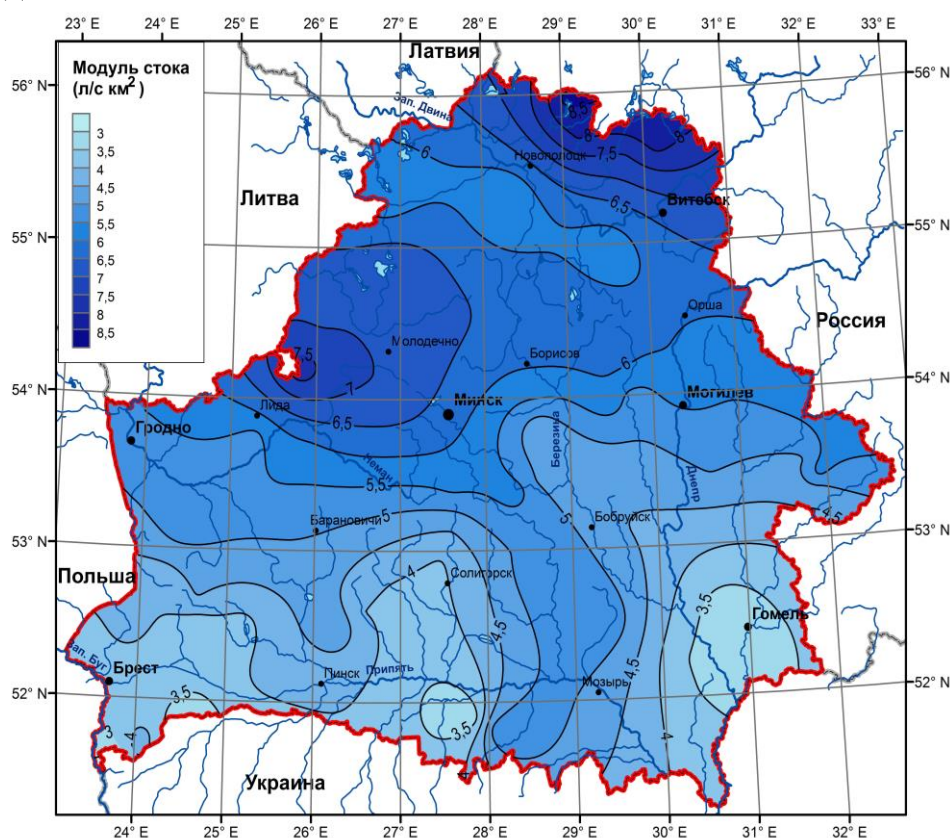


Рисунок 1 – Карта модулей среднемноголетнего годового стока рек Беларуси, л/с с км²

Наглядное представление о пространственной структуре стока рек Беларуси можно получить из карты модулей среднемноголетнего годового стока рек Беларуси осредненный за период с 1953 по 2018 гг., т.е. за последние 65 лет, что позволило учесть усилившиеся в последние десятилетия процессы глобального потепления климата и антропогенных воздействий, которые, несомненно, наложили свой отпечаток на формирование стока рек (рисунок 1) [7]. В распределения годового стока рек Беларуси наблюдается общее зональное понижение его в направлении с севера на юг и юго-запад, что увязывается с распределением годовых осадков и запасов воды в снежном покрове. О характере колебаний речного стока можно судить по карте коэффициентов вариации определенных за тот же период и приведенной в [7].

Использование водных ресурсов. На рисунке 2 представлен хронологический ход водопотребления в Республике Беларусь за период с 1990 по 2020 гг. Из анализа имеющихся данных следует, что потребление воды в Беларуси уменьшается, главным образом, в связи падением водопотребления на хозяйственно-питьевые нужды, введением приборов учета воды в 1995 г., а также с убылью населения [4, 8, 9].

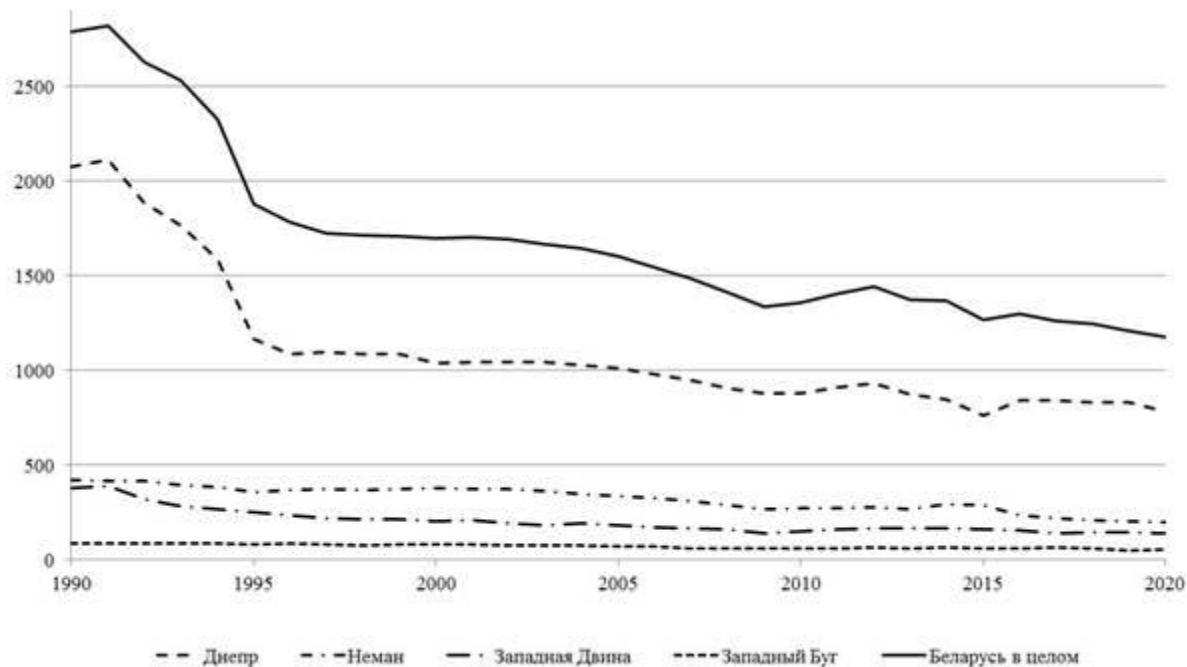


Рисунок 2 – Хронологический ход водопотребления в Республике Беларусь, млн. м³

Следует отметить следующие факты:

- к концу 80-х годов прошлого столетия тенденцию общего водопотребления определяло промышленное водопотребление, но с распадом СССР объемы промышленности стали резко сокращаться, что повлекло за собой уменьшение водопотребления и с середины 90-х годов прошлого столетия ведущую роль заняло хозяйственно-питьевое использование;

- после стабилизации экономической ситуации на рубеже XX и XXI веков, в Беларуси начались внедряться современные маловодные технологии, более широкое распространение получили системы повторного и оборотного водоснабжения, динамика общего водопотребления стала в большей степени зависеть от хозяйственно-питьевого использования, поскольку это основной потребитель воды. За период с 1990 по 2020 гг. сокращение водопотребления составило 1610,5 млн м³/год. Здесь не последнюю роль сыграл факт массового перехода на индивидуальные счетчики учета воды для населения;

- использование воды в сельском хозяйстве и промышленности изменяется медленно и незначительно влияет на общее снижение водопотребления за рассматриваемый период.

Представленные данные о снижении водопотребления в Беларуси не совпадают с общей тенденции роста водопотребления в мире. Так, на протяжении последних ста лет общее использование воды в мире возросло в девять раз, а количество населения выросло только в четыре раза. Лишь за 1990 – 1995 гг. мировое

водопотребление возросло в пять раз, более чем в два раза превышая рост населения за этот период [10]. Рост водопотребления связан не только с развитием производственно-технологических процессов и с развитием сельского хозяйства, которое забирает на свои нужды около 70 % от общего мирового водопотребления. Рост водопотребления связывают также с существенным увеличением потребления воды в коммунально-бытовом секторе в результате общего увеличения доли городского населения, повышения требований населения к уровню комфорта.

В Беларуси за период 1990 по 2020 гг., водопотребление сократилось на 58 %, тогда как численность населения уменьшилась на 8,5 %. По данным [11] водопотребление в мире распределяется следующим образом: сельское хозяйство – 70 %, промышленность – 22 %, бытовое потребление – 8 %. В Беларуси соответственно – 32 %, 28 % и 40 %.

Удельное водопотребление в бытовом секторе Беларуси за рассматриваемый период постепенно уменьшается. Минимальное водопотребление, равное 114 л/сут. чел отмечалось в 2019 г., максимальное – в 220 л/сут. чел. имело место в 2002 г. Можно предположить, что столь высокое удельное водопотребление в бытовом секторе в 2002 г., существенно превышающее нормативы многих стран, связано не с повышением комфортности быта белорусов и их расточительным потреблением воды, а с утечками из разводящих водопроводных сетей, которые не учитываются отдельной статьей в отчетных документах, а списываются на бытовое потребление. Показатели удельного водопотребления в 2020 г. 117 л/сут. чел. близки к нормам, европейских странах [10].

В последние годы в основных бассейнах Республики Беларусь наблюдается общая тенденция к снижению объема водозабора из природных водных источников. При этом наиболее существенно снижается забор воды из подземных источников. Только в бассейне Западного Буга наблюдается увеличение использования поверхностных вод.

В отраслевом разрезе практически все снижение водопотребления связано с уменьшением забора воды в промышленности и на хозяйственно-питьевые нужды.

Анализ динамики водопотребления Республики Беларусь позволил выделить 3 периода, характеризующихся различной тенденцией изменения водопользования: 1990 – 1996 гг. – резкий спад; 1997 – 2007 гг. – период неустойчивой стабилизации; 2009 г. – по настоящее время период устойчивой стабилизации.

Общее водопотребление в Республике Беларусь в 1990 г. составляло 2790 млн м³, а в 2020 г. составило 1176,9 млн м³ (в т.ч. сельское хозяйство потребило 378,7, население – 474,1, промышленность – 324,1 млн м³), т.е. произошло сокращение на 1613 млн м³ или на 58 %.

Наводнения. По числу жертв и причиненному ущербу наводнения занимают первое место среди стихийных бедствий. Вместе с тем, как это ни парадоксально, до сего времени нет надежных долгосрочных прогнозов их появления, достоверных и общепринятых методик подсчета причиняемых ими ущербов и общепринятой концепции защиты.

За последние 100 лет на реках Беларуси наводнения, причинившие ощутимые ущербы имели место 10 – 12 раз. Наиболее часто, в среднем раз в 2 – 3 года, весенние наводнения бывают на Припяти в верхнем и среднем течении, Западной Двине и раз в 4 – 5 лет на Припяти в нижнем течении, Березине [12]. Наиболее значительными из них явились наводнения в 1956, 1958, 1974, 1979, 1993 и 1999 гг. Одно из последних крупных половодий произошло в 1999 г., когда площадь подтопления составила 255 тыс. га. При этом необходимо отметить, что последствия водной стихии окончательно устраняются только через 3 – 4 года [12].

В таблице 1 представлены наиболее значимые наводнения на реках Беларуси вызванные весенним половодьем за период инструментальных наблюдений.

Таблица 1 – Годы с наводнениями в период весенних половодий [13]

Река-пост	Характеристика наводнения		
	катастрофическое $P < 1\%$	выдающееся $P = 1 - 2\%$	большое $P = 3 - 10\%$
Западная Двина – г. Витебск	1931	1878, 1929, 1956	1958, 1962
Неман – г. Гродно	1958	1931	
Днепр – г. Орша	1931	1908, 1956	1907, 1917, 1929, 1958
Днепр – г. Речица		1956, 1958	1907, 1915, 1916, 1917, 1928, 1947, 1970
Березина – г. Бобруйск		1931, 1956	1883, 1917, 1924, 1932, 1958
Припять – г. Мозырь	1845	1888, 1895, 1979	1886, 1889, 1907, 1924, 1931, 1932, 1934, 1940, 1956, 1958, 1966, 1970, 1999

Детальный анализ наводнений на территории Беларуси представлен в работе [12]. Несмотря на то, что для территории Республики Беларусь проблема наводнений актуальна, практически до высокого летне-осеннего паводка 1974 г. в бассейне р. Припять, строгого учета ущерба от наводнений не проводилось.

Наводнения, как и другие виды чрезвычайных ситуаций природного характера, в определенной степени поддаются прогнозированию, что позволяет предотвратить массовые жертвы среди населения и уменьшить вред.

Избежать катастрофических последствий наводнений можно при соблюдении трех условий: своевременный прогноз чрезвычайной ситуации, эффективные действия властей всех уровней по ее предотвращению, строгая персональная ответственность за несоблюдение первых двух условий [14]. К сожалению, все эти условия в ряде случаев не выполняются. Последнее значимое наводнение было в 1999 г., а, следовательно, за последние годы не было серьезной практической проверки служб, технических возможностей и навыков специалистов и властей всех уровней.

По мнению специалистов, профилактика наводнений, прогнозы, отселение людей, а главное – ремонт дамб и проведение противопаводковых мероприятий, в том числе и экстренных, позволяют предотвратить наводнения примерно в 70 % обычных паводков. При этом затраты на профилактику и ликвидацию последствий наводнений находятся в соотношении 1:30.

Маловодия. Для рек Беларуси характерно наличие в году двух периодов низкого стока – летне-осеннего и зимнего. В летне-осенний период минимальный

сток наблюдается, как правило, в конце лета, начале осени и в зимний период – в конце зимнего периода, когда истощаются подземные воды. Формирование минимальных расходов воды в зимний и летне-осенний период тесно связано с режимом подземного стока и его значение значительно колеблется. Наименьшее подземное питание рек наблюдается на юге территории в бассейне р. Днепр (ниже г. Рогачев), в бассейнах рек Припять и Западный Буг. Небольшое подземное питание наблюдается также на востоке и на крайнем северо-западе Беларуси (бассейн р. Западная Двина). Наибольшее подземное питание наблюдается на северо-западе и центральной части в пределах Ошмянской, Новогрудской, Минской возвышенностей (бассейны рр. Вилия, Неман).

В соответствии с изменением подземного стока распределяется и минимальный сток. Для годового стока изменение модуля стока зависит от широты – уменьшение с севера на юг, а для минимального стока такой закономерности не наблюдается, то есть для минимального стока уменьшается зависимость от климатических факторов и усиливается влияние физико-географических факторов. В первую очередь на величину минимального стока оказывает влияние дренирующая способность рек, которая зависит от геоморфологических и почвенных условий водосборов. На водосборах рек притоков Припяти грунтовые воды очень близко расположены к поверхности, но подземный сток невысокий из-за равнинного рельефа, малых уклонов и малоразвитых, и врезанных на незначительную глубину русел рек. Поэтому здесь наблюдается самый низкий минимальный сток. На реках, отличающихся большими уклонами, повышенным эрозионным врезом (реки бассейна Вилии и Немана), характерно более значительное подземное питание, и поэтому минимальный сток здесь выше.

Многолетний ход минимального стока на малых и средних реках, как правило, соответствует ходу на больших реках.

Минимальные значения наблюдаемых наименьших расходов воды летне-осеннего периода ниже средних многолетних в 1,6 – 3,5 раза, а по отдельным рекам – в 8 раз. В маловодные годы на малых реках может наблюдаться их пересыхание (р. Нача – д. Нача в 2002 г. – 20 дней).

В маловодные годы наблюдаемые наименьшие зимние расходы воды были ниже средних многолетних значений в 1,6 – 8,0 раза на реках бассейна Западной Двины, в 1,7 – 4,0 раза на реках бассейна Немана и Западного Буга, в 2,0-3,5 раза на реках бассейна Днепра, в 2,8 – 3,1 раза на реках бассейна Сожа, в 3,1 – 6,5 раза на реках бассейна Припяти, а на отдельных притоках Припяти наблюдаемые наименьшие зимние расходы воды были ниже средних многолетних значений более, чем в 10 раз (р. Уборть – с. Краснобережье – в 14 раз в 1936 г.).

В пределах Полесья нулевой сток отмечен на 17 водотоках с площадями водосборов 11 – 1280 км². Средняя продолжительность одного случая нулевого стока может достигать летом 195 суток, зимой – 75 – 100 суток.

Качество поверхностных вод. Качественный состав поверхностных вод Беларуси формируется под действием природных и антропогенных факторов. Взаимодействие природных факторов создает уникальный гидрохимический режим, характерный только для данной местности, который выражается в фоновых концентрациях химических элементов. За естественный

гидрохимический фон воды рек Беларуси можно принять речной сток в летнюю межень до проявления значительного антропогенного воздействия, который приведен в [15].

С середины XX века началось ухудшение качества природных вод в связи с увеличением точечного и площадного загрязнения, вызванного промышленностью и сельским хозяйством. Первые значимые изменения в гидрологическом и гидрохимическом режимах водных экосистем датируются концом 1960-х – началом 1970-х годов. Под воздействием антропогенных факторов абиотические и биотические компоненты водных систем претерпели значительные изменения. В воде рек и озер практически повсеместно установлен рост концентраций ряда компонентов, достоверно превышающий их фоновые значения: хлоридов (в 2 – 9 раз), сульфатов (в 1,5 – 2 раза) и щелочных металлов (в 1,3 – 3 раза).

В последнее время антропогенная нагрузка на речные экологические системы стабилизировалась. Наряду с такими факторами загрязнения водотоков и водоемов как сточные воды промышленных предприятий, бытовые стоки, сосредоточенные и рассредоточенные сбросы с сельскохозяйственных угодий, значительную роль в изменении гидрохимического режима рек принадлежит стоку с мелиоративных систем. В результате мелиораций произошло существенное сгущение проводящей сети, что усилило сброс и перенос избытка растворенных солей. Это может привести не просто к трансформации гидрохимического режима, а и к изменению экологического статуса данной территории.

По данным наблюдений на 2020 год количество водотоков Беларуси с отличным гидрохимическим статусом увеличилось по сравнению с 2014 годом на 6,98 %. Уменьшилось количество рек со статусом хороший на 5,61 %, в тоже время увеличилось количество рек со статусом удовлетворительный на 1,37 %, по сравнению с 2014 годом.

Что же касается гидробиологического статуса в 2020 г., то по сравнению с 2014 г. количество водотоков с отличным статусом увеличилось на 3,46 %, а с хорошим статусом уменьшилось на 10,23 %. Также возросло количество водотоков с удовлетворительным статусом на 6,79 % и зафиксировано появление водотоков с плохим статусом.

Анализ динамики изменения концентраций химических элементов в водах водотоков и водоемов, уменьшение количества сбрасываемых сточных вод никак не сказывается на уменьшении концентрации загрязнения. Это связано, прежде всего, с тем, что помимо количества сбрасываемых сточных вод необходимо учитывать специфику отрасли и концентрацию загрязнения [16].

При рассмотрении распределения сброса сточных вод по отраслям экономики, основная масса приходится на сельское, лесное, рыбное хозяйство и водоснабжение. Это свидетельствует о том, что основными загрязняющими

веществами будут являться биогенные элементы. Подтверждением тому служат данные наблюдений за гидрохимическим режимом поверхностных вод. Приоритетными компонентами загрязняющих веществ в составе сбрасываемых сточных вод для большинства бассейнов рек являются аммоний-ион, фосфат-ион, нитрит-ион, БПК₅, соединения железа общего [17].

В доаварийный период концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде р. Припять составляли соответственно 0,0033 – 0,00185 и 0,00185 – 0,0066 Бк/дм³. В первые дни после аварии суммарная бета-активность воды р. Припять в районе Чернобыльской атомной электростанции превышала 3000 Бк/дм³ и только к концу мая 1986 г. снизилась до 150 – 200 Бк/дм³. Максимальные концентрации плутония – 239 в воде р. Припять составили 0,37 Бк/дм³. В настоящее время наиболее высокое содержание стронция-90 в воде р. Припять (г. Мозырь) находится в пределах от 2 до 6 Бк/м³; в воде р. Днепр (г. Речица) – от 1 до 9 Бк/м³; в воде р. Сож (г. Гомель) – от 2 до 14 Бк/м³; в воде р. Ипуть (г. Добруш) – от 3 до 16 Бк/м³; в воде р. Беседь (д. Светиловичи) – от 3 до 43 Бк/м³, а также в старицах Припяти на территории зоны отселения. Концентрации ^{137}Cs в воде значительно ниже допустимых концентраций по нормам радиационной безопасности и не превышает республиканский допустимый уровень по его содержанию в питьевой воде. Но он все еще выше доаварийных значений.

Тенденции изменения гидрохимического режима носят разнонаправленный характер. Существует тенденция к увеличению антропогенной нагрузки, характеризующейся увеличением концентрации биогенных элементов. Основным направлением для решения данного вопроса является более детальный подход к очистке сточных вод. Интенсификация работы очистных сооружений, строительство локальных очистных сооружений для промышленных и сельскохозяйственных комплексов и др.

Еще одним направлением в борьбе за сохранение экологически благоприятной обстановки, является новый подход к нормированию и расчету химических компонентов и загрязнителей поверхностных вод, которые бы учитывали характер и специфику производства, расположенного в бассейне той или иной реки, а также природные фоновые концентрации.

Процесс загрязнения водных объектов приостановился и наметились позитивные тенденции к улучшению экологического состояния отдельных речных бассейнов. Однако, несмотря на снижение сброса загрязненных сточных вод, существенного улучшения качества поверхностных вод в настоящее время еще не наблюдается.

Магистральным направлением улучшения качества природных вод остается снижение антропогенной нагрузки и восстановление экологического благополучия водных объектов, а именно интенсификация работы коммунальных очистных сооружений, строительство локальных очистных сооружений на предприятиях АПК, очистка дождевого стока и т. д.

Антропогенные воздействия на речной сток. Начиная с 50-х годов прошлого столетия, развернулась дискуссия о влиянии мелиорации на речной сток. Основное воздействие на водный режим рек было оказано в период широкомасштабных гидротехнических мелиораций, особенно в Полесской низменности. При этом водные ресурсы Полесья сильнее других регионов подверглись антропогенным воздействиям. Было осушено 23 % территории, общая протяженность открытой мелиоративной сети превысила 65000 км, существенно преобразовалась гидрографическая сеть, особенно, если учесть спрямление и углубление самой Припяти и крупных ее притоков. Кроме того, обвалование отдельных участков Припяти и строительство польдерных мелиоративных систем, которые исключают затопление обвалованных участков поймы, привело к тому, что грунтовые воды понизились на 1,0 – 1,5 м, вслед за ними снизились уровни воды в реках, в некоторых – вплоть до пересыхания. Все это выразилось в изменении гидрологического режима рек.

Оценка изменений речного стока Беларуси за период с 1877 по 2018 гг. показала, что в среднем по территории имеет место некоторая тенденция уменьшения среднегодового стока, хотя статистически и незначимая. Максимальные сток весеннего половодья статистически значимо уменьшается со скоростью $-0,051 \cdot Q_{\max}$, а минимальный летне-осенний и зимний сток – растет со скоростью $0,010 Q_{\min.л.-о}$ и $0,047 Q_{\min.з.}$, соответственно (таблица 2). За период современного потепления тенденции изменения стока имеют такую же тенденцию как период инструментальных наблюдений, за исключением минимального летне-осеннего стока. За последние 50 лет сохраняется аналогичная тенденция изменения стока. Статистически значимы уменьшение максимального стока весеннего половодья и рост минимального зимнего стока.

Таблица 2 – Значение линейных трендов стока рек Беларуси

Период	1877 – 2018 гг. (142 года)	1877 – 1986 гг. (110 лет)	1987 – 2018 (32 года)	1969 – 2018 (50 лет)
Вид стока	<i>Средний годовой</i>			
$\alpha_{10 \text{ лет}} / r$	-0,001 $Q_{\text{ср.год}}$ / -0,03	-0,006 $Q_{\text{ср.год}}$ / -0,10	-0,047 $Q_{\text{ср.год}}$ / -0,22	0,004 $Q_{\text{ср.год}}$ / 0,03
Вид стока	<i>Максимальный весеннего половодья</i>			
$\alpha_{10 \text{ лет}} / r$	-0,051 Q_{\max} / -0,42	-0,031 Q_{\max} / -0,20	-0,025 Q_{\max} / -0,10	-0,065 Q_{\max} / -0,32
Вид стока	<i>Минимальный летне-осенний</i>			
$\alpha_{10 \text{ лет}} / r$	0,010 $Q_{\min.л.-о}$ / 0,17	0,004 $Q_{\min.л.-о}$ / 0,05	-0,096 $Q_{\min.л.-о}$ / -0,34	-0,008 $Q_{\min.л.-о}$ / -0,05
Вид стока	<i>Минимальный зимний</i>			
$\alpha_{10 \text{ лет}} / r$	0,047 $Q_{\min.з.}$ / 0,52	0,025 $Q_{\min.з.}$ / 0,27	0,088 $Q_{\min.з.}$ / 0,21	0,095 $Q_{\min.з.}$ / 0,32

Выделены статистически значимые величины.

Детальная оценка изменения стока основных рек Беларуси за рассматриваемые периоды представлены в таблице 3, а на рисунке 3 приведена динамика изменения модулей максимального стока весеннего половодья и минимального зимнего стока.

Таблица 3 – Статистические характеристики гидрологических параметров рек Беларуси

Параметры	Припять-Мозырь	Неман-Гродно	Зап. Двина-Витебск	Березина-Бобруйск	Днепр-Орша	Днепр-Речица	Припять-Мозырь	Неман-Гродно	Зап. Двина-Витебск	Березина-Бобруйск	Днепр-Орша	Днепр-Речица
Вид стока	<i>Средний годовой</i>											
Период	1877 – 2018 гг. (142 года)						1877 – 1986 гг. (110 лет)					
$Q_{\text{ср}}$, м ³ /с	394	195	226	119	127	364	387	198	221	119	125	365
C_v	0,31	0,18	0,27	0,19	0,26	0,21	0,31	0,18	0,27	0,19	0,26	0,22
α_{10} лет	3,27	-0,79	-0,06	-0,02	-0,34	-3,08	2,20	0,41	0,08	-2,76	-1,97	-5,55
r	0,11	-0,09	-0,01	0,00	-0,04	-0,16	0,06	0,04	0,01	-0,15	-0,20	-0,22
% от $Q_{\text{ср}}$	0,83	-0,41	-0,03	-0,02	-0,27	-0,85	0,57	0,21	0,04	-2,32	-1,58	-1,52
Период	1987 – 2018 (32 года)						1969 – 2018 (50 лет)					
$Q_{\text{ср}}$, м ³ /с	418	184	242	118	134	360	432	188	228	117	126	348
C_v	0,29	0,16	0,27	0,19	0,26	0,20	0,29	0,16	0,27	0,17	0,25	0,19
α_{10} лет	-6,42	-0,16	-3,66	-29,3	-9,40	-10,5	-15,75	-2,59	-0,33	5,75	4,33	7,27
r	-0,05	0,00	-0,15	-0,42	-0,26	-0,14	-0,18	-0,13	-0,02	0,14	0,20	0,16
% от $Q_{\text{ср}}$	-1,54	-0,09	-1,51	-24,8	-7,02	-2,92	-3,65	-1,37	-0,14	4,91	3,44	2,09
Период	1877 – 2018 гг. (142 года)						1877 – 1986 гг. (110 лет)					
$Q_{\text{ср}}$, м ³ /с	1599	798	1517	594	793	1730	1760	887	1608	679	875	1969
C_v	0,72	0,57	0,36	0,71	0,44	0,59	0,70	0,54	0,33	0,64	0,40	0,52
α_{10} лет	-75,2	-39,0	-35,8	-44,4	-40,3	-106,1	-51,9	-19,8	-16,4	-28,2	-28,2	-81,3
r	-0,27	-0,35	-0,35	-0,34	-0,47	-0,47	-0,13	-0,13	-0,12	-0,17	-0,26	-0,25
% от $Q_{\text{ср}}$	-4,70	-4,89	-2,36	-7,48	-5,08	-6,13	-2,95	-4,40	-1,02	-4,15	-3,22	-4,13
Период	1987 – 2018 (32 года)						1969 – 2018 (50 лет)					
$Q_{\text{ср}}$, м ³ /с	1047	492	1203	300	510	911	1266	549	1229	356	536	1024
C_v	0,58	0,40	0,37	0,51	0,38	0,41	0,68	0,53	0,34	0,59	0,34	0,49
α_{10} лет	106,2	-57,7	-15,3	-110,3	-24,3	-33,7	-169,7	-60,1	-49,5	-47,2	-26,8	-102,3
r	0,20	-0,27	-0,09	-0,23	-0,12	-0,08	-0,29	-0,30	-0,34	-0,16	-0,21	-0,30
% от $Q_{\text{ср}}$	10,1	-11,7	-1,27	-36,8	-4,77	-3,7	-13,4	-10,9	-4,03	-13,3	-5,00	-9,99
Период	1877 – 2018 гг. (142 года)						1877 – 1986 гг. (110 лет)					
$Q_{\text{ср}}$, м ³ /с	155	89,5	52,2	55,6	34,0	154	149	90,2	51,4	54,8	31,2	149
C_v	0,47	0,19	0,41	0,22	0,36	0,24	0,48	0,18	0,42	0,22	0,34	0,22
α_{10} лет	2,70	0,26	0,19	-0,18	1,08	1,40	2,34	1,19	-0,12	-0,76	0,44	-0,14
r	0,15	0,06	0,06	-0,03	0,36	0,16	0,10	0,23	-0,03	-0,11	0,13	-0,01
% от $Q_{\text{ср}}$	1,75	0,29	0,36	-0,32	3,18	0,91	1,57	1,32	-0,23	-1,39	1,41	-0,09
Период	1987 – 2018 (32 года)						1969 – 2018 (50 лет)					
$Q_{\text{ср}}$, м ³ /с	174	86,8	55,0	58,7	43,5	171	183	90,4	51,5	58,7	40,0	164
C_v	0,41	0,21	0,37	0,22	0,30	0,26	0,39	0,20	0,34	0,21	0,29	0,23
α_{10} лет	-21,3	-3,90	-3,60	-8,11	-2,92	-14,0	-13,9	-3,49	-0,93	0,90	2,26	1,81
r	-0,28	-0,20	-0,26	-0,37	-0,21	-0,30	-0,28	-0,29	-0,11	0,07	0,28	0,07
% от $Q_{\text{ср}}$	-12,2	-4,49	-6,54	-13,8	-6,71	-8,21	-7,58	-3,86	-1,81	1,53	5,66	1,10
Период	1877 – 2018 гг. (142 года)						1877 – 1986 гг. (110 лет)					
$Q_{\text{ср}}$, м ³ /с	155	71,5	53,2	51,5	29,6	129	136	69,8	47,8	48,4	24,7	109
C_v	0,68	0,30	0,48	0,28	0,52	0,48	0,75	0,29	0,43	0,26	0,42	0,42
α_{10} лет	10,6	0,47	1,41	-0,18	2,19	9,31	8,54	-0,52	0,79	-0,76	1,27	5,70
r	0,41	0,09	0,40	-0,03	0,58	0,62	0,27	-0,08	0,20	-0,11	0,39	0,40
% от $Q_{\text{ср}}$	6,82	0,66	2,65	-0,35	7,40	7,23	6,27	-0,75	1,65	-1,57	5,14	5,24
Период	1987 – 2018 (32 года)						1969 – 2018 (50 лет)					
$Q_{\text{ср}}$, м ³ /с	221	77,5	72,0	62,0	46,4	198	225	72,8	64,2	59,8	42,0	180
C_v	0,42	0,31	0,43	0,26	0,40	0,31	0,59	0,37	0,45	0,27	0,41	0,35
α_{10} лет	27,5	12,0	3,30	-8,11	-0,08	6,35	2,70	7,58	2,56	0,90	3,76	17,1
r	0,28	0,46	0,19	-0,37	0,00	0,10	0,03	0,41	0,23	0,07	0,32	0,40
% от $Q_{\text{ср}}$	12,4	15,5	4,58	-13,1	-0,17	3,21	1,20	10,4	3,99	1,51	8,95	9,52

Выделены статистически значимые величины.

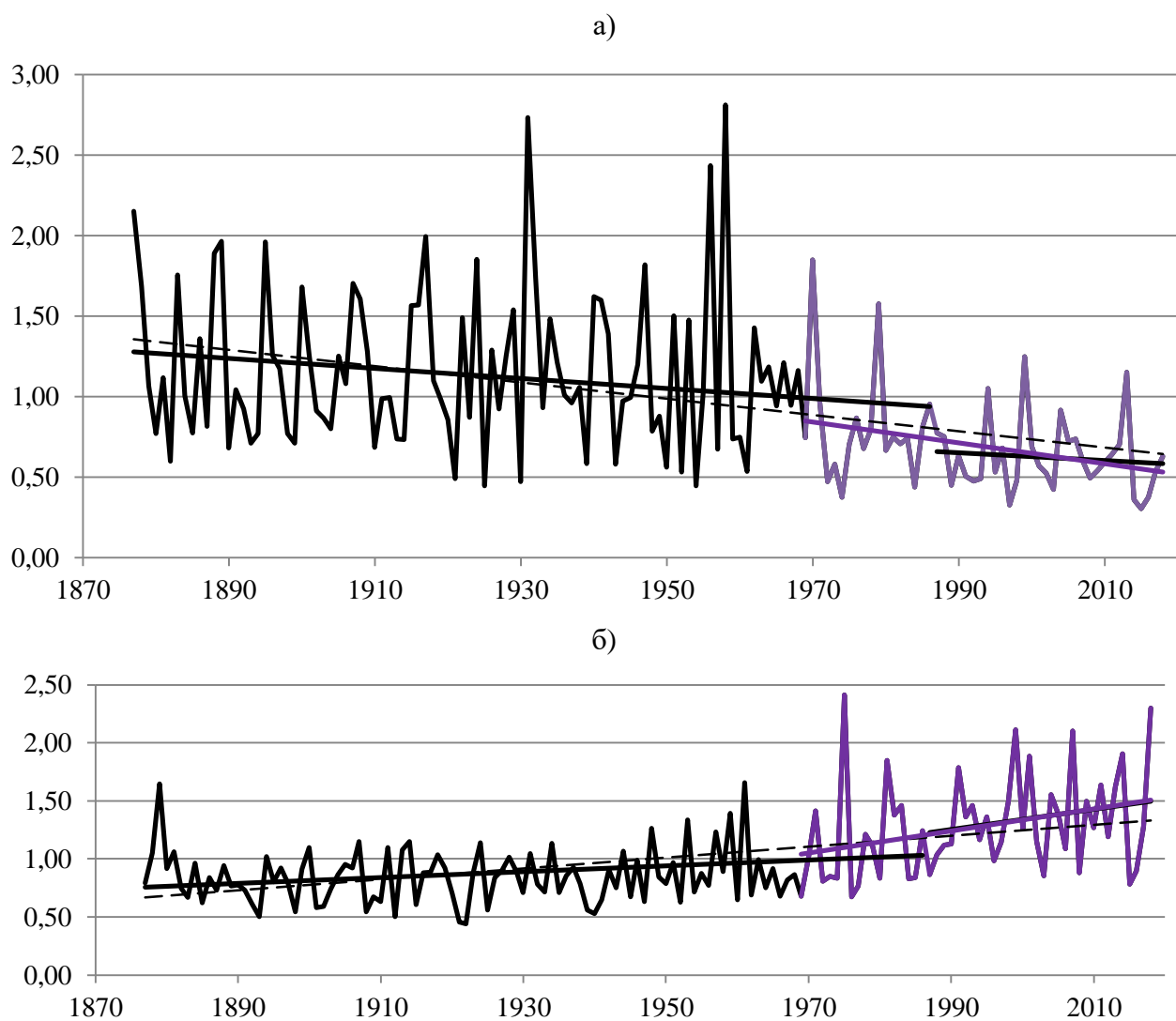


Рисунок 3 – Динамика модулей стока воды рек Беларуси: а) – максимальных весеннего половодья; б) – минимальных зимних

Прогнозные оценки изменения водных ресурсов при различных сценариях будущего. Современное климатические колебания, несомненно, окажут влияние на трансформацию речного стока в будущем. Используя гидролого-климатическую гипотезу В. С. Мезенцева [18] и сценарии изменения климата для бассейнов рек Беларуси на период до 2035 года, нами получены прогнозные оценки изменения стока рек Беларуси [19]. Прогноз стока на период до 2035 года в основном подтвердил выявленные современные тенденции его изменения. По прогнозному изменению объемов стока также возможна резкая дифференциация между северной и южной частью республики, между малыми и большими реками. При незначительном изменении стока в среднем за год, высокая вероятность его неравномерности и разнонаправленности в сезоны и месяцы. Особенно значительно может изменяться сток в летние месяцы с его снижением во все сезоны на юге Беларуси. Вместе с тем для севера Беларуси прогнозируются не столь значительные изменения стока, как для юга (таблица 4).

Таблица 4 – Прогноз изменения речного стока до 2035 года для бассейнов основных рек Беларуси, в % от современного состояния

Река – створ	Зима	Весна	Лето	Осень	среднегодовой
Припять – Мозырь	0,23	1,60	-20,63	-2,40	-5,30
<i>В среднем по бассейну:</i>	<i>-1,33</i>	<i>-6,47</i>	<i>-24,57</i>	<i>-8,46</i>	<i>-10,23</i>
Неман – Гродно	22,08	8,12	9,79	-1,91	8,66
<i>Среднее по бассейну:</i>	<i>19,76</i>	<i>6,78</i>	<i>1,45</i>	<i>-7,40</i>	<i>4,75</i>
Западная Двина – Витебск	10,63	10,47	24,17	2,80	9,20
<i>Среднее по бассейну:</i>	<i>10,64</i>	<i>9,35</i>	<i>21,39</i>	<i>1,12</i>	<i>8,92</i>
Днепр – Орша	0,60	-1,10	-10,23	3,37	-1,80
Днепр – Речица	22,17	6,30	0,10	-12,43	4,00
Березина – Бобруйск	4,30	-18,37	-2,07	-10,8	-6,70
<i>В среднем по бассейну:</i>	<i>4,28</i>	<i>-4,47</i>	<i>-12,14</i>	<i>-8,48</i>	<i>-5,21</i>

Следует отметить, что прогнозные оценки изменения стока рек в условиях изменяющегося климата следует рассматривать как вероятностные, связанные с допущением ряда неопределенностей. Однако значимость оценок и прогнозов речного стока определяется целесообразностью их последующего учета при планировании водоохраных и водохозяйственных мероприятий, связанных с совершенствованием управления речными бассейнами в Беларуси. Особенно это актуально в связи с тем, что одним из наиболее негативных последствий изменения климата для речного стока является возможное увеличение частоты и интенсивности неблагоприятных метеорологических и гидрологических явлений. К этим явлениям относятся ливни, засухи, поздние заморозки, наводнения, обусловленные дождевыми паводками и весенними половодьями, особенно при соединении факторов таяния снега и осадков в виде мокрого снега и дождя, а также возможного увеличения продолжительности половодья. Усиление неравномерности внутригодового перераспределения стока и увеличение рисков наводнений, обусловленных резкими оттепелями в зимний период, более ранним наступлением весеннего половодья и увеличением интенсивности дождевых паводков может привести к увеличению рисков экстремальных явлений. Проблема возникновения маловодных периодов, приводящих к засухам, также актуальна для бассейнов рек Беларуси. Хотя в настоящее и будущее время нет явных предпосылок для возникновения дефицита водных ресурсов, тем не менее, повышается вероятность наступления длительных маловодных периодов. Во время маловодных периодов может произойти ухудшение экологического состояния и рекреационного потенциала поверхностных водных объектов и прилегающих территорий, изменение гидрогеологического режима грунтовых вод, истощение почвенного покрова в пойме и т. п. Кроме того, за счет возможного увеличения частоты и продолжительности засушливых периодов повышаются риски существенного уменьшения стока малых рек со снижением в них уровня воды, ухудшением ее качества и уменьшением рекреационного потенциала этих рек.

Заключение. Суммарные ресурсы поверхностных вод Беларуси практически не изменились. В то же время произошло перераспределение естественных водных ресурсов по бассейнам основных рек. Современный этап использования водных ресурсов в Республике Беларусь характеризуется стабилизацией их

потребления. В обозримом будущем в стране не следует ожидать значительного роста или падения водопотребления и существующие водные ресурсы в полной мере будут удовлетворять потребностям всех отраслей экономики и требованиям экологического стока. Однако это не снимает с повестки дня вопросов очистки природных и сточных вод, сохранения качества природных вод, обеспечения безопасности функционирования водных экосистем.

Интенсивное освоение речных пойм в совокупности с прогнозируемым изменением климата приведут к увеличению разрушительной силы наводнений и их повторяемости. Минимизировать негативные последствия катастрофических наводнений можно имея своевременный прогноз и эффективные действия властей. К сожалению, эти условия в ряде случаев не выполняются. Борьба с наводнениями является межгосударственной проблемой, и в ее решении должны принимать все страны, расположенные на водосборе.

Прогнозируемое потепление климата вызовет изменения водного режима рек, поэтому разработка и реализация мер по адаптации к изменению климата в части совершенствования управления водными ресурсами является актуальной задачей.

Главной задачей в исследовании водных ресурсов Беларуси на нынешнем этапе является их комплексная оценка современного состояния с учетом пространственно-временных колебаний и изменений основных составляющих водного баланса речных водосборов. При этом необходимо учитывать влияние на них различных природных и антропогенных факторов, прогноз изменения водных ресурсов при различных сценариях развития климата. На основе полученных научных результатов разработать мероприятия по минимизации возможных негативных последствий в случае изменения режима водных ресурсов.

Список цитированных источников

1. Блакітны скарб Беларусі: Рэкі, азёры, вадасховішчы, турысцкі патынцыял водных аб'ектаў / маст.: Ю. А. Тарэеў, У. І. Цярэнцьеў. – Мінск : БелЭн, 2007. – 480 с.
2. Волчек, А. А. Оптимизация режимной гидрологической сети Беларуси // А. А. Волчек // Мелиорация. – №4(94). – 2020. – С. 24–29.
3. Волчек, А. А. Пакет прикладных программ для определения расчетных характеристик речного стока / А. А. Волчек, С. И. Парфомук // Веснік Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. № 1. – 2009. – С. 22–30.
4. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. Статистический сборник: [2014 – 2020] / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – 2021. – 202 с.
5. Логинов, В. Ф. Современные изменения водных ресурсов Республики Беларусь / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, С. И. Парфомук // География и природные ресурсы. – № 4. – 2008. – С. 149–154.

6. Волчек, А. А. Водные ресурсы Республики Беларусь на современном этапе / А. А. Волчек, С. И. Парфомук // Вестник БГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – № 2(68). – 2011. – С. 2–5.
7. Волчек, А. А. Пространственно-временная структура среднемноголетнего годового стока рек Беларуси / А. А. Волчек, С. В. Сидак, С. И. Парфомук // Вестник Брестского государственного технического университета. – № 2 (125). – 2021. – С. 75–80.
8. Волчек, А. А. Использование водных ресурсов Беларуси и их дифференциация по основным водосборам / А. А. Волчек, Т. Е. Зубрицкая // Водное хозяйство России. – № 5. – 2017. – С. 16–33.
9. Волчек, А. А. Динамика распределения водных ресурсов Беларуси между секторами экономики / А. А. Волчек, Т. Е. Зубрицкая // Вестник БГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – № 2(115). – 2019. – С. 6–9.
10. Данилов-Данильян, В. И. Водные ресурсы мира и перспективы водохозяйственного комплекса России / В. И. Данилов-Данильян. М. : ООО «Типография ЛЕВКО». – 2009. – 88 с.
11. Gleick, P. H. Global freshwater resources: soft-path solutions for the 21- th century / P. H. Gleick // Science. 2003. 302. № 5650. P. 1524–1527.
12. Логинов, В. Ф. Весенние половодья на реках Беларуси: пространственно-временные колебания и прогноз / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, Ан. А. Волчек. – Минск : Беларуская навука, 2014. – 244 с.
13. Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси: справочник / Мин-во природ. Ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь; под общ. ред. М. А. Гольберга – Минск : Белорусский научно-исследовательский центр Экология. – 2002. – 132 с.
14. Воробьев, Ю. Л. Катастрофические наводнения начала XXI века: уроки и выводы / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов. – М. : ООО "ДЭКС-ПРЕСС", 2003. – 352 с.
15. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Л. : Гидрометеиздат. – Т. 5. – Ч. 1. 1966. – 718 с.; – Ч. II. – 1966. – 621 с.
16. Волчек, А. А. Трансформация гидрохимического режима поверхностных вод Беларуси / А. А. Волчек, М. А. Таратенкова // Вестник БГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – № 2(110). – 2018. – С. 3–16.
17. Государственный водный кадастр: Водные ресурсы, их использование и качество воды (за 2020 гг.). – Минск : ЦНИИКИВР, 2021. – 223 с.
18. Мезенцев, В. С. Гидролого-климатическая гипотеза и примеры ее использования / В. С. Мезенцев // Водные ресурсы. – Том 22. – № 3. – 1995. – С. 299 – 301.
19. Волчек, А. А. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата / А. А. Волчек, В. Н. Корнеев, С. И. Парфамук, И. А. Булак / Под общ. ред. А. А. Волчека, В. Н. Корнеева. Брест : Альтернатива, 2017. – 228 с.