

## **Lyubov Nikolaievna Hertman**

Institute for Complex Use of Water Resources Head of Hydrology and Water Protection  
Territories Department  
Minsk, Belarus  
lubov.hertman@yandex.ru  
ORCID: 0000-0001-9394-7065

## **ОЦЕНКА УЯЗВИМОСТИ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА В БАССЕЙНЕ РЕКИ НЕМАН (БЕЛОРУССКАЯ ЧАСТЬ) В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА**

## **ASSESSMENT OF VULNERABILITY OF WATER MANAGEMENT IN THE NEMAN RIVER BASIN (BELARUSSIAN PART) UNDER CLIMATE CHANGE IMPACT**

**Аннотация:** Изменения климата влекут за собой существенные последствия для водных ресурсов, отдельные из которых видны уже в настоящее время. В статье приведены результаты оценки уязвимости водных и связанных с ними природных ресурсов и отраслей экономики к изменению климата в белорусской части бассейна реки Неман. Оценка уязвимости выполнена в разрезе административных районов на основании прогноза степени изменения стока рек. В статье приведен анализ возможных негативных последствий для связанных с водными ресурсами отраслей экономики, для них требуется разработка дополнительных адаптационных мероприятий.

**Ключевые слова:** водное хозяйство, изменение климата, бассейн реки Неман

**Key words:** water management, climate change, the Neman river basin

### **Введение**

Стратегической целью в области сохранения водного потенциала в соответствии с Водной стратегией Республики Беларусь на период до 2020 года [Водная стратегия 2011] является повышение эффективности использования и улучшения качества водных ресурсов, сбалансированных с потребностями

общества и возможным изменением климата. Изменения климата влекут за собой существенные последствия для водных ресурсов, отдельные из которых видны уже в настоящее время. Для решения проблем связанных с этими изменениями требуется комплексный подход к решению организационных, правовых и финансово-экономических проблем водопользования и охраны вод включая оценку уязвимости к изменению климата.

Концепция оценки уязвимости основана на определении степени, в которой данная система (природный ресурс или отрасль экономики) подвержена неблагоприятному воздействию в результате изменения климата и неспособна противостоять негативным воздействиям изменения климата, включая изменчивость климата и экстремальные климатические явления. Уязвимость зависит от характера, интенсивности и скорости изменения климата, а также от тех изменений, которые воздействуют на систему, зависит от ее чувствительности и способности к адаптации. При этом чувствительность определяется как степень ответной реакции системы (природного ресурса или отрасли экономики) на прогнозируемое изменение климата, что напрямую связано с адаптационным потенциалом системы.

Оценка *изменения стока* в бассейне реки Неман [Волчек А.А., Корнеев В.Н. 2017] за последние 50 лет позволила выявить следующие тенденции: незначительное увеличение среднегодового стока – в среднем по бассейну на 4,2 %; снижение стока весеннего половодья и более раннее наступление его пика; увеличение стока в зимний период; не очень значительное уменьшение стока в летний период.

Прогнозные расчеты изменения стока позволяют утверждать, что выявленные тенденции незначительного увеличения среднегодового стока в среднем по бассейну реки Неман сохранятся. Может произойти увеличение стока в зимний период до 24%, в основном в январе и феврале, за счет увеличения количества осадков и оттепелей. Прогнозируемый сток в летний период может уменьшиться до 20% [Корнеев В.Н., Волчек А.А. 2015].

## **Методы исследования**

Оценка уязвимости водных и связанных с ними природных ресурсов и отраслей экономики к изменению климата в бассейне р. Неман выполнена в разрезе административных районов на основании прогноза степени изменения стока рек. В связи с тем, что на территории Беларуси хозяйственное и экономическое планирование ведется по административному признаку (для районов, областей) уязвимость определялась для административных районов с использованием открытых статистических данных. На этом уровне можно планировать различного рода адаптационные мероприятия для различных сценариев изменения климата.

В соответствии с предлагаемой методикой для бассейна р. Неман использовалась оценка уязвимости с установлением баллов от одного до трех в зависимости от воздействия факторов по мере их возрастания.

В основу оценки степени уязвимости положены следующие критерии: степень изменения стока; потенциал адаптации, оцененный для различных типов природных ресурсов и отраслей экономики в контексте их связи с водными ресурсами; последствия воздействия изменения климата. Для оценки использовались следующие характеристики: структура использования земель, плотность населения, развитие энергетики и отраслей промышленности, водопользование.

В общем виде шкала оценки уязвимости отраслей экономики и природных ресурсов представляется в следующем виде.

Воздействие (вероятность): низкая – 1 балл; средняя – 2 балла; высокая – 3 балла. Вероятность воздействия характеризуется степенью использования того или иного ресурса в экономике. Например, площадь лесопокрытых территорий в районе или доля осушенных земель. Данная оценка сводится к физическим аспектам уязвимости.

Последствия воздействия: не очень существенные – 1 балл; средние – 2 балла; существенные – 3 балла. Последствия воздействия определяются степенью зависимости используемого ресурса от изменений стока, как элемент физических аспектов оценки уязвимости. Сюда включаются также анализ социальных аспектов, которые заключаются в возможности возмещения убытков и наличия резервных средств для обеспечения защиты жизни людей, оперативного восстановления объектов инфраструктуры.

Адаптационный потенциал: низкий – 3 балла; средний – 2 балла; высокий – 1 балл.

Уязвимость имеет градацию в зависимости от суммы баллов по степени воздействия, последствий воздействия, адаптационного потенциала: низкая – 1 балл; средняя – 2 балла; высокая – 3 балла.

Для бассейна р. Неман вероятное изменение объема и сезонного распределения подземного и речного стока выделяется как одно из значимых последствий изменения климата. Поэтому уязвимость определялась по оценке воздействия климата на изменения подземного и поверхностного стока в лимитирующий период в качестве основного критерия, а также ряда дополнительных критериев с учетом вероятности воздействия, последствий воздействия и адаптационного потенциала.



стороны) может дать положительный эффект в плане возможного увеличения лесопокрываемых территорий и повышает устойчивость лесной отрасли к возможным изменениям. Наоборот, при увеличении стока, вероятность трансформации лесных территорий в переувлажненные или заболоченные повышает уязвимость лесного хозяйства. В восточных административных районах, где прогнозируется значительное снижение стока в летний период в сочетании с широко развитой сетью осушительной мелиорации, существует риск увеличения пожаров на осушенных территориях, что даже при относительно небольшом снижении стока увеличивает уязвимость районов.

Для оценки уязвимости промышленности важным фактором оказался объем отводимых сточных вод, который резко увеличивает уязвимость административных районов к изменению стока особенно в условиях его снижения. Больше половины административных районов имеют высокую степень уязвимости для промышленности в части ее взаимосвязи с поверхностным стоком. Для этих административных районов необходимо предусмотреть возможность внедрения современных технологий водопользования, в первую очередь, повышение эффективности применения оборотных и повторно-последовательных систем водоснабжения на предприятиях. В условиях повышения стока положительную роль играет развитие гидроэнергетики за счет возможностей снижения пиков половодий и паводков, а также аккумуляирования поверхностного стока в многоводные периоды и последующего его использования в маловодные.

Для естественных экосистем сочетание площадей водно-болотных угодий и незначительное снижение стока позволило выделить отдельные административные районы с низкой уязвимостью. Для остальных территорий высокая уязвимость связана с высокой степенью трансформации водно-болотных угодий в условиях снижения стока (в верховье Немана), а в средней части бассейна – угроза трансформации лесопокрываемых территорий – в заболоченные.

Для сельского хозяйства наряду со значительной площадью сельскохозяйственных земель важным фактором стало увеличение стока весеннего половодья, который при всех прочих равных условиях приводит к увеличению уязвимости административных районов в среднем течении Немана. Для административных районов в верхней части бассейна доминирующую роль играет снижение стока в августе. Как правило, в административных районах с высокой кадастровой оценкой земель распаханность составляет более 60%, что нивелирует преимущество высокого бонитета почв при оценке уязвимости.

Адаптация к изменению климата является необходимым условием при управлении водными ресурсами и связанными с ними отраслями хозяйства. Для этого необходима разработка и внедрение соответствующих стратегических направлений адаптации для различных секторов экономики.

Степень климатозависимости экономики Беларуси определяется как суммарный удельный вес наиболее погодо- и климатозависимых отраслей

в производстве ВВП. Суммарная доля климатозависимых отраслей в экономике Беларуси превышает 41% от производства ВВП. Степень метеорологической уязвимости отраслей экономики различается в зависимости от характера производственной деятельности и технологических процессов [Шестое национальное сообщение 2015].

Анализ тенденций изменения климата указывает, прежде всего, на 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, а также засушливыми периодами. Что может привести к увеличению негативных последствий и ущербов от этих опасных гидрометеорологических явлений.

Возможное значительное снижение стока в летние месяцы и в начале осеннего периода может привести к значимому негативному воздействию на те виды природных ресурсов и отрасли экономики, которые активно используют водные ресурсы (поверхностные воды). Это, в первую очередь, такие виды природных ресурсов, как непосредственно сами водные ресурсы (их количественные и качественные характеристики), водные и околосводные экосистемы, включая ихтиофауну, водно-болотные угодья и лесные ресурсы в поймах рек. В наиболее уязвимом положении окажутся экосистемы малых рек.

Негативное воздействие изменения климата и связанное с ним изменение речного стока окажет также на связанные с водными ресурсами отрасли экономики, включая водный транспорт, малую гидроэнергетику, сельское хозяйство (при орошении), места отдыха населения на воде (рекреационные зоны).

При своевременном внедрении мер, разработанных на основании оценки уязвимости природных ресурсов и отраслей экономики от изменения климата, через конкретные мероприятия и проекты можно не только снизить ущерб и риски от негативных проявлений климатической изменчивости, но даже извлечь определенную экономическую выгоду от положительных эффектов.

Дефицит водных ресурсов для промышленности в целом маловероятен, в т. ч. благодаря хорошей обеспеченности подземными водами, но возможен для предприятий, осуществляющих водопользование из поверхностных источников особенно в периоды невысокой водности. Сокращение стока в летние периоды не окажет существенного влияния на развитие промышленности, но может оказать негативное влияние на качество воды в принимающих водных объектах из-за ухудшения качества сточных вод при недостатке воды для их разбавления.

В условиях изменения климата в системе жилищно-коммунального хозяйства особенно остро будут сказываться такие проблемы, как недостаточное качество питьевой воды в отдельных сельских населенных пунктах, износ очистных сооружений водоснабжения и водоотведения. Коммунальное водоснабжение населенных пунктов Беларуси основано на использовании подземных вод, риск недостатка водных ресурсов вследствие изменения климата маловероятен, но может измениться качество вод. Тем не менее, возможно ухудшение

водоснабжения в населенных пунктах без централизованного водоснабжения из-за понижения уровня первого подземного водоносного горизонта и пересыхания колодцев.

Воздействие изменения климата на водные ресурсы может вызвать следующие последствия для системы **жилищно-коммунального хозяйства**:

- риск нарушения водоснабжения из поверхностных водных источников в засушливые периоды;
- дополнительные затраты на развитие систем водоснабжения и водоотведения, дождевую канализацию и локальную очистку при организации водоснабжения и водоотведения;
- увеличение расходов воды на хозяйственно-питьевое водоснабжение населения в теплые периоды года;
- строительство и эксплуатация систем очистки сточных вод без учета изменения температурного режима воздуха, изменения стока и качества воды принимающих сточные воды водных объектов может привести к существенным нарушениям состояния поверхностных вод;
- ухудшение санитарно-эпидемиологической ситуации из-за повышения температуры воздуха в районах сбора и хранения твердых бытовых отходов.

Многие негативные последствия изменения климата в энергетике связаны с увеличением числа опасных гидрометеорологических явлений. Особенно чувствительна к погодным и климатическим изменениям гидроэнергетика. Риск дефицита воды для объектов энергетики незначителен, кроме объектов гидроэнергетики, для которых риск повышается в маловодные периоды из-за возможного снижения уровня воды в водотоках, на которых расположены ГЭС. Прогнозируется риск нарушения нормального функционирования ГЭС при росте вероятности возникновения опасных гидрометеорологических явлений (засушливых периодов, наводнений). Возможен риск усиления воздействия АЭС на температурный режим водных объектов.

Резкие изменения количества осадков могут влиять на динамику стока рек, что чревато последствиями для автомобильных и железных дорог, функционирования железнодорожных и автобусных терминалов, портов и аэропортов. Это также может приводить к разрушению или ухудшению эксплуатационно-технического состояния дорог, железнодорожных путей, мостов, туннелей, дренажных систем, систем телекоммуникаций и управления движением, увеличивая потребность в ремонтно-профилактических работах. На внутренних водных путях возможны такие проблемы, как приостановка судоходства, заиление, изменение морфологии русел рек, повреждение берегов и противопаводковых сооружений.

Эффективность рыбоводства во многом определяется водным и температурным режимами используемых водных объектов, которые прямо или косвенно связаны с изменением климата. Изменение условий среды



(температуры воды, растворенного кислорода, ледового режима) приводит к изменениям в рыбопродуктивности и в видовом составе. Это одновременно может создавать возможности для разведения новых видов рыб. Вероятны изменения в возрастном и видовом составе ихтиофауны и сокращения рыбного биоразнообразия и вследствие исчезновения или сокращения площади нерестилищ. Негативное воздействие на ловлю рыбы в рыболовных угодьях может оказать появление чужеродных видов-вселенцев. В связи с сокращением стока и понижением уровней поверхностных вод и с перераспределением воды между отраслями хозяйства возможен дефицит водных ресурсов для рыбохозяйственных предприятий, использующих рыбоводческие пруды.

Изменение условий для туризма и отдыха, включая снижение рекреационного потенциала водных объектов возможно, в том числе, за счет ухудшения качества воды в зонах рекреации (зонах купания).

В условиях изменения климата для городов Беларуси значительно повысилась вероятность негативных последствий опасных гидрометеорологических явлений, в частности затопления и подтопления территорий. Особенно существенные изменения гидрологического режима в последнее время характерны при выпадении летних осадков с экстремальными значениями. В связи с этим требует решения проблема оптимизации системы дождевой канализации по основным магистральным коллекторам с учетом наиболее опасных участков пропуска дождевых вод и разработки мероприятий по минимизации затопления городских территорий.

## **Выводы**

Изменение климата затронет каждый аспект общества, окружающей среды и экономики. Это вызывает необходимость осуществления корректировок в поведении, средствах проживания, инфраструктуре, законах и политике, а также институциональной структуре в ответ на произошедшие или ожидаемые климатические изменения. Такие корректировки должны включать повышение гибкости институциональной и управленческой систем по отношению к рассмотрению неопределенных будущих изменений, или же они могут действовать на базе имеющихся место последствий и угроз и прогнозируемых изменений. Плановая адаптация требует тщательного продумывания вопроса о том, как системы будут функционировать в отдаленном, среднем и ближайшем будущем.

Основополагающим фактором при адаптации к изменению климата является применение бассейнового подхода, при котором в максимальной степени принимаются во внимание проблемы и потребности бассейна в целом, вне зависимости от их пространственного расположения, ведомственной и территориальной принадлежности, а для их выявления и решения предлагаются механизмы бассейнового сотрудничества, в том числе на международном уровне.



В настоящее время в Республике Беларусь осуществляется разработка отдельного стратегического документа по управлению водными ресурсами в условиях изменения климата на период до 2030 года. Проект Стратегии для реализации основных задач предусматривает принятие плана мероприятий, обеспечивающих наибольший социальный и экономический эффект, и создание условий для эффективного взаимодействия участников водных отношений в условиях изменения климата.

Разработка адаптационных планов и мероприятий для водного хозяйства в Республике Беларусь находится на начальной стадии. Для систематической оценки результатов принимаемых адаптационных мер и мероприятий необходимо разработать подходы, позволяющие оценить эффективность их осуществления. Требуется также разработка методик расчета рисков и оценки ущерба от влияния изменения климата, в том числе на связанные с водными ресурсами секторами экономики, оценка динамики изменения площади связанных с водой экосистем и разработка научно-обоснованных мероприятий для их охраны и восстановления.

Очевидно, что, говоря об адаптации как осознанном и целенаправленном реагировании на изменение климата, следует обратить внимание в первую очередь на адаптационные мероприятия, осуществляемые в целях снижения неблагоприятных последствий изменения климата для антропогенных систем.

Первым шагом для разработки адаптационных мероприятий является пересмотр действующей системы мониторинга поверхностных вод с ориентацией на проведение наблюдений в наиболее чувствительных к изменению климата зонах. Также следует развивать прогностические модели развития ситуации для таких зон для рассмотрения вариантов принятия компенсационных мероприятий.

Важным адаптационным мероприятием является модернизация и оптимизация системы водной мелиорации земель с учетом долгосрочных тенденций изменения климата и приоритетов водопользования в рамках комплексной стратегии управления водными ресурсами Беларуси. Наиболее эффективной мерой борьбы с эрозионными водными потоками является планомерная лесомелиоративная деятельность в бассейнах рек.

Требуется научное обоснование целесообразности и возможности строительства и эксплуатации водохранилищ в отдельных районах страны, которые позволят регулировать водный режим в соответствии с требованиями потребителей воды, т. е. решать проблему водообеспечения – повышения гарантированной водности источника.

При долгосрочном планировании хозяйственной деятельности необходимо учитывать уязвимость поверхностных вод и определенную ограниченность адаптационных мер, не привязываясь к конкретным датам наступления изменений. Адаптация хозяйственной деятельности должна, прежде всего, включать водосбережение, широкое применение маловодных технологий, более широкое использование орошения сельскохозяйственных земель.

Изменение климата повышает ценность подземных вод Беларуси, как основного источника питьевого водоснабжения для территории Беларуси.

На сегодняшний день имеющихся научных исследований для проведения достоверной оценки дальнейшего влияния изменения климата на водные ресурсы Беларуси недостаточно. Научная оценка и прогноз изменения водных ресурсов под влиянием изменения климата, является актуальным направлением, затрагивающим интересы многих отраслей экономики страны.

## Литература

- Водная стратегия Республики Беларусь до 2020 года Решение коллегии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 11.08.2011, № 72-Р.
- Волчек А.А., Корнеев В.Н., 2017, Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата/ А.А. Волчек, В.Н. Корнеев, С.И. Парфомук, И.А. Булак // под общ. ред. А.А. Волчек, В.Н. Корнеева, Брест: Издательство «Альтернатива», 2017, с. 228.
- Корнеев В.Н., Волчек А.А., 2015, Стратегические направления адаптации бассейна реки Неман к изменению климата/Программа развития ООН в Беларуси и Европейская экономическая комиссия ООН; сост. колл авторов, Брест, с. 68.
- Шестое национальное сообщение Республики Беларусь в соответствии с обязательствами по рамочной конвенции ООН об изменении климата, Минск 2015, с. 306.

## Transliteration

- Vodnaâ strategiâ Respublikibelarus' do 2020 goda Rešenie kolegii Ministerstva prirodnyh resursov i ohranyokružaûšej sredej Respubliki Belarus' ot 11.08.2011, № 72-R.
- Volček A.A., Korneev V.N., 2017, Vodnye resursy Belarusi i ih prognoz s učetom izmeneniâ klimata/A.A. Volček, V.N. Korneev, S.I. Parfomuk, I.A. Bulak/pod obš. red. A.A. Volček, V.N. Korneeva, Brest: Izdatel'stvo «Al'ternativa», 2017, s. 228.
- Korneev V.N., Volček A.A., 2015, Strategičeskie napravleniâ adaptacii bassejna reki Neman k izmeneniû klimata/Programma razvitiâ OON v Belarusi i Evropejskaâ èkonomičeskaâ komissiâ OON; sost. koll avtorov, Brest, s. 68.
- Šestoe nacional'noesobšenie Respubliki Belarus' v sootvetstvii s obâzatel'stvami po ramočnojkonvencii OON ob izmenenii klimata, Minsk 2015, s. 306.

## Summary

Climate change has significant implications for water resources. Some of them are already visible now. The article presents the results of assessing the vulnerability of water resources and related natural resources, economic sectors to climate change in the Belarusian part of the Neman river basin. Vulnerability assessment was carried out in the context of administrative regions based on the forecast of the degree of change in river flow. The article provides an analysis of the possible negative consequences for water-related sectors of the economy. Such industries require the development of additional adaptation measures.