

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ БЕЛАРУСИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОГНОЗ

Волчек А.А.

Брестский государственный технический университет, г. Брест

[E-mail: Volchak@tut.by](mailto:Volchak@tut.by)

Введение. Водные ресурсы являются важнейшей составляющей природно-ресурсного потенциала любой страны. Они интенсивно используются и определяют развитие экономики. Хотя вода и относится к категории возобновляемых природных ресурсов, но, несмотря на это, ее использование должно строго регламентироваться, чтобы исключить возможность необратимых изменений в состоянии природных экосистем. Поэтому в настоящее время среди первоочередных задач рационального природопользования в Беларуси стоит проблема сохранения природных ресурсов и в первую очередь водных ресурсов. Необходимым и важным условием рационального использования водных ресурсов является наличие своевременной, достоверной и полной информации о водных ресурсах. Кроме того, остро стоит проблема загрязнения природных вод вследствие сброса сточных вод и других видов антропогенного воздействия. Ухудшение и сокращение водных ресурсов может не только нанести вред окружающей среде, снизить эффективность производства, сказаться на здоровье населения, но и стать причиной конфликтных ситуаций между государствами, расположенными в одном речном бассейне.

Многочисленные исследования убедительно доказали, что водные ресурсы являются достаточно чувствительными к изменению климата. В настоящее время некоторые из негативных последствий уже обозначились, а, в отдельных случаях, серьезно дают о себе знать.

Целью настоящей работы – оценка водных ресурсов, динамики водопотребления в Республике Беларусь, возможных тенденций в колебаниях водного режима при различных сценариях развития климата в будущем и экономического развития страны.

Исходные данные и методики. В качестве основных исходных материалов использованы стандартные данные наблюдений на гидрометеорологической сети за период инструментальных наблюдений, материалы водохозяйственной и экономической статистики Республики Беларусь за период с 1990 – 2012 гг., т.е. за период существования Беларуси как самостоятельного государства. В качестве основного показателя водопотребления рассматривается общее водопотребление с подразделением на отдельные отрасли, а также учетные данные по сбросу сточных вод.

Методологической основой исследований являются научные положения о стохастической природе изменчивости элементов водного баланса, что позволило использовать статистические методы анализа временных рядов,

методы анализа водного и теплоэнергетического баланса подстилающей поверхности, математического моделирования.

Прогноз изменения водного режима рек Беларуси осуществлялся с использованием метода гидролого-климатических расчетов (ГКР). Метод основан на совместном решении уравнений водного и теплоэнергетического балансов [5] и адаптированный нами для условий Беларуси.

Уравнение водного баланса речного водосбора имеет вид

$$Y_K(I) = H(I) - E(I) \pm \Delta W(I), \quad (1)$$

где $H(I)$ – суммарные ресурсы увлажнения, мм; $E(I)$ – суммарное испарение, мм; $Y_K(I)$ – суммарный климатический сток, мм; $\Delta W(I)$ – изменение влагозапасов деятельного слоя почвогрунтов за расчетный интервал, мм; I – интервал осреднения.

Суммарное испарение находится по следующему уравнению связи:

$$E(I) = E_m(I) \left[1 + \left(\frac{E_m(I)/W_{HB} + V(I)^{1-r(I)}}{(KX(I) + g(I))/W_{HB} + V(I)} \right)^{n(I)} \right]^{\frac{1}{n(I)}}, \quad (2)$$

где $E_m(I)$ – максимально возможное суммарное испарение – водный эквивалент теплоэнергетических ресурсов климата, мм; W_{HB} – наименьшая влагоемкость почвогрунтов, мм; $V(I) = W(I)/W_{HB}$ – относительная влажность почвогрунтов на начало расчетного периода; $KX(I)$ – сумма измеренных атмосферных осадков за расчетный период, мм; $g(I)$ – грунтовая составляющая водного баланса, мм; $r(I)$ – параметр, зависящий от водно-физических свойств и механического состава почвогрунтов; $n(I)$ – параметр, учитывающий физико-географические условия стока.

Относительная влажность почвогрунтов на конец расчетного периода определяется из соотношений:

$$V(I+1) = V(I) \times \left(V_{cp}(I)/V(I) \right)^{r(I)}; \quad (3)$$

$$V_{cp}(I) = \left(\frac{(KX(I) + g(I))/W_{HB} + V(I)}{E_m(I)/W_{HB} + V(I)^{1-r(I)}} \right)^{\frac{1}{n(I)}}. \quad (4)$$

Максимально возможное суммарное испарение находится по методике, описанной в работе [1]. Суммарные ресурсы увлажнения определяются по уравнению

$$H(I) = KX(I) + W_{HB} (V(I) - V(I+1)). \quad (5)$$

Метод ГКР реализован нами в виде компьютерной программы «Баланс». Моделирование водного баланса водосбора реки осуществляется в два этапа: настройка модели и собственно моделирование стока [3]. Изменяя параметры (W_{HB} , r и n) и используя систему уравнений (2) – (5), производится настройка модели. После калибровки модели выполняются исследование в зависимости от поставленной задачи.

Результаты и их обсуждение. Водные ресурсы и их изменения в современных условиях. Анализ гидрологической информации по рекам Беларуси за период инструментальных наблюдений позволил выявить следующие закономерности.

Поверхностные водные ресурсы представлены в республике главным образом речным стоком, который в средние по водности годы составляет $57,9 \text{ км}^3$. В многоводные годы общий речной сток увеличивается до $92,4 \text{ км}^3$, а в маловодные снижается до $37,2 \text{ км}^3$ в год. Общий объем воды, аккумулированной в озерах, оценивается в $6 - 7 \text{ км}^3$; объем водохранилищ – $3,1 \text{ км}^3$. Естественные ресурсы подземных вод составляют $15,9 \text{ км}^3$.

Среднегодовые и обеспеченные величины стока крупных рек Беларуси практически не изменились. Увеличение стока рр. Свислочь и Днепр вызвано переброской части стока р. Виляя ($0,2 \text{ км}^3/\text{год}$). Трансформация внутригодового распределения имеет место на р. Припять, р. Днепр – г. Речица и р. Березина. Годовой сток малых рек на юге и юго-западе Беларуси увеличился, на северо-западе незначительно уменьшился. Антропогенная нагрузка на речной сток, в основном, за счет безвозвратных потерь воды при водопотреблении, не превышает 3 % и находится в пределах точности гидрологических расчетов. Влияние антропогенных факторов на сток малых рек более существенно, особенно крупномасштабных мелиораций на Полесье. С конца 90-х годов прошлого столетия на большей части Беларуси уменьшилась скорость ветра, что повлекло за собой уменьшение суммарного испарения и испарения с водной поверхности. Это является одной из причин изменения водного режима рек и уровней озер. Карта среднегодового модуля стока рек Беларуси, построенная с учетом современных изменений климата, представлена на рис. 1 [3].

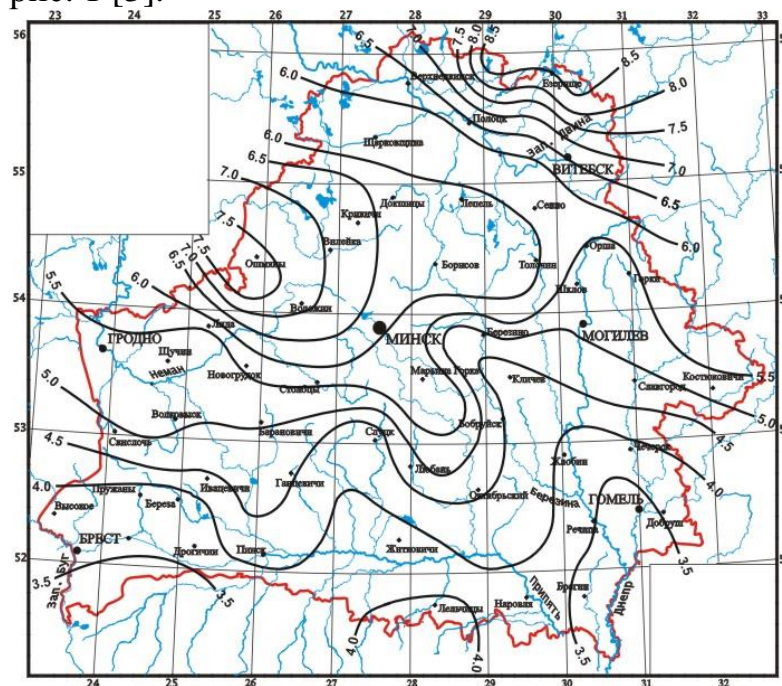


Рисунок 1 – Карта среднего годового стока рек Беларуси за период 1956-2005 гг., л/(с·км²)

Практически на всей территории Беларуси произошли существенные уменьшения максимальных расходов воды весеннего половодья. Это обусловлено в первую очередь климатическими процессами, выраженными

увеличением числа и продолжительности оттепелей в зимний период. Исключение составляют реки бассейна р. Припять на территории Брестской области, где существенного изменения максимальных расходов воды весеннего половодья не произошло (изменения колеблются от 0 до -10 %). Это вызвано большой степенью мелиорированности водосборов, что компенсировало влияние природных факторов, вызывающих уменьшение стока. Наибольшее уменьшение стока весеннего половодья выделяется на р. Виляя (от -50 до -80 %). Это вызвано переброской части стока р. Виляя через Вилейско-Минскую водную систему в р. Свислочь.

Средние даты наступления максимальных расходов воды весеннего половодья за период последнего повышения температуры воздуха на территории Беларуси сместились на более ранние сроки (71,5 % случаев пик половодий приходится на третью декаду марта) в направлении с юго-запада на северо-восток Беларуси. Основной причиной смещения пиков половодий на реках Беларуси являются климатические факторы. Существенной трансформации в форме гидрографов не наблюдается, хотя в отдельных случаях имеет место некоторая трансформация формы гидрографов, вызванная антропогенными факторами [6].

Для максимальных расходов воды паводков на реках Беларуси характерно, что в период 1966 – 2010 гг. по сравнению с периодом от начала инструментальных наблюдений до 1965 г. на большинстве рек Беларуси произошло уменьшение величины максимальных расходов воды дождевых паводков на 10 – 30 %, за исключением рек бассейна Припяти, где их величина в результате проведения крупномасштабных мелиорации увеличилась на 10 – 20 %. В период современного потепления климата (1988 – 2010 гг.) по сравнению с предшествующим периодом (1966 – 1987 гг.) на реках севера и северо-востока страны произошло увеличение максимальных расходов воды дождевых паводков на 20 – 30 %, на реках юга и запада – уменьшение на 10 – 30 %.

На большинстве рек Беларуси имеется тенденция к росту максимальных расходов воды зимних паводков. При этом их абсолютная величина существенно не увеличилась по сравнению с более ранними периодами в связи с увеличением их частоты. Исключение составляют реки бассейна Западной Двины, для которых характерен заметный рост на 20 – 40 % величины максимальных расходов воды зимних паводков в период современного потепления климата.

На реках Двинско-Днепровского района в периоды потеплений климата (потепление Арктики и современное), которые сопровождались увеличением количества выпадающих атмосферных осадков, наблюдался рост величины дождевых паводков, в период 1966 – 1987 гг. – снижение. Реки Неманского района имеют резко выраженную тенденцию к снижению величины дождевых паводков, особенно заметную с середины 80-х гг. XX в. На реках Бугского района, также имеющих тенденцию к снижению величины паводков, заметно выделяются большие дождевые паводки, которые

наблюдались на всех реках района в 1970-е гг. Бугский район соответствует зоне уменьшения атмосферных осадков в современный период потепления климата. На реках Припятского района наибольшие паводки отмечались в период 1966 – 1987 гг., при этом большое влияние на величину дождевых паводков оказало проведение крупномасштабной мелиорации [4].

Для большинства рек Беларуси отмечается стабильная тенденция увеличения летне-осенних и зимних минимальных расходов воды, причем на большей части рек скорость изменения стока в зимний период больше, чем в летне-осенний период. Наибольшие изменения произошли в Белорусском Полесье, наименьшие – в бассейне р. Неман, а в бассейне р. Виляя летне-осенний и зимний минимальный сток уменьшился; на реках бассейна Немана летне-осенний минимальный сток увеличился, а зимний – уменьшился, на северо-востоке Беларуси летне-осенний минимальный сток уменьшился, а зимний – увеличился. Минимальные расходы летней межени устойчиво возрастают, вследствие улучшения дренирования грунтовых вод и увеличения стока летних осадков. Произошли изменения в наступлении дат наименьшего расхода воды в период открытого русла и зимнего периода [2].

Под воздействием антропогенных факторов абиотические и биотические компоненты водных систем претерпели значительные изменения. Первые значимые изменения в гидрологическом и гидрохимическом режимах водных экосистем датируются концом 1960-х – началом 1970-х годов. 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 настоящее время вода большинства рек страны относится к категории относительно чистой и умеренно загрязненной. Поверхностные воды загрязнены в основном легко окисляемыми органическими веществами, соединениями азота и фосфора, тяжелыми металлами и нефтепродуктами. Загрязняющие вещества поступают в водные объекты не только с выпусками промышленных и коммунальных сточных вод, но и с ливневым стоком с территорий предприятий и городов, стоянок автотранспорта и дорожных магистралей, со сбросом загрязнений с животноводческих комплексов и с выносом не ассимилированных растениями химических компонентов удобрений с сельскохозяйственных угодий.

В целом можно отметить, что наметились тенденции к уменьшению загрязнения рек Беларуси, однако, по-прежнему качество поверхностных вод на отдельных участках рр. Свислочь, Ясельда, Березина, Западный Буг, Днепр, Виляя, Неман не удовлетворительно.

В динамике потребления воды Республикой Беларусь отмечается общая тенденция снижения потребления воды. Это вызвано различными факторами, среди которых в первую очередь следует отметить спад экономики на начальном этапе становления Беларуси как самостоятельной страны, переход на современные мало водоемкие технологии, изменение политики в области

водопотребления и водопользования направленной на рациональное использование водных ресурсов и т.д.

В динамике общего водопотребления на различные нужды с 1992 по 2012 гг. отчетливо прослеживается тенденция к уменьшению водопотребления до 2009 г., а затем намечается некоторая тенденция к росту водопотребления (рис. 2).

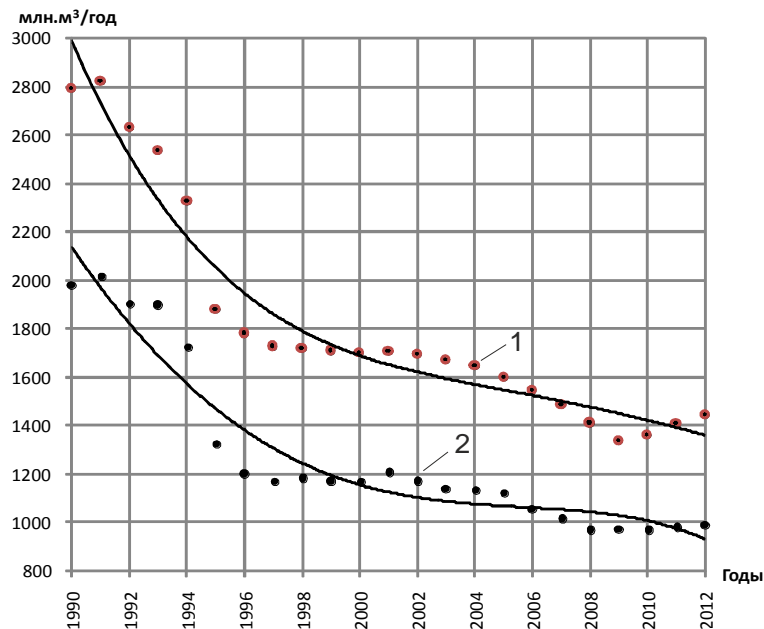


Рисунок 2 – Динамика использования водных ресурсов Беларуси: 1 – общее водопотребление, 2 – сброс сточных вод.

В отношении объемов сбрасываемых сточных вод наблюдается ситуация схожая с общим водопотреблением. Прослеживается снижение объемов сточных вод до 1996 г., после которого отмечается определенная стабилизация, а, начиная с 2002 г. количество сточных вод, сбрасываемых в водные объекты снова постепенно уменьшается и только с 2009 г. наблюдается незначительное их увеличение.

Изменения в объемах забираемой воды, повлекли за собой и преобразования в структуре водопользования (рис. 3), что отразилось в первую очередь на социальной составляющей водопотребления.

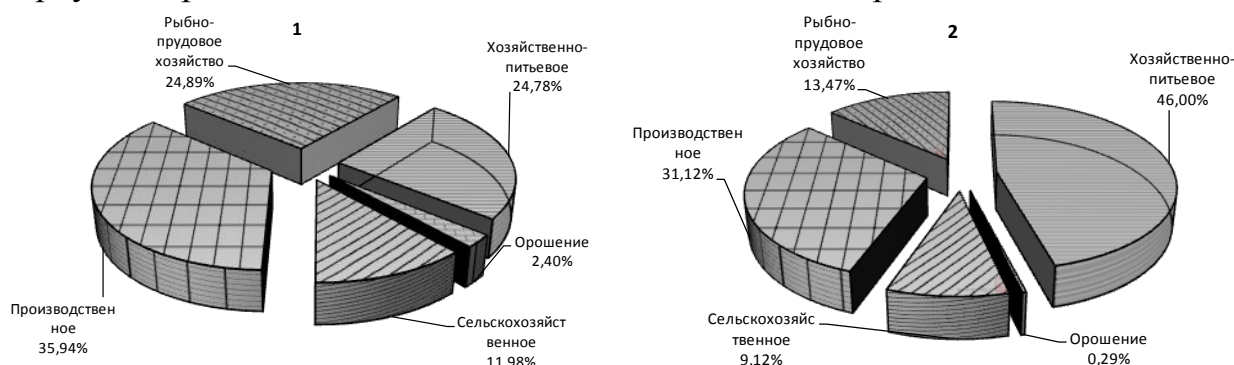


Рисунок 3 – Структура водопотребления: 1 – в 1990 г., 2 – в 2012 г.

Прогнозные оценки. Прогнозные оценки изменения водного режима рек моделировались с использованием следующих сценариев развития климата.

На основании выявленных тенденций в изменениях температуры воздуха, атмосферных осадков и дефицитов влажности воздуха за период 1985 – 2010 гг. выполнены прогнозные оценки основных показателей климата. Прикладные исследования позволили построить на перспективу до 2020 года карты среднегодовых и месячных температур воздуха, атмосферных осадков, дефицитов влажности воздуха. Результаты моделирования среднемноголетнего климатического стока рек на период до 2020 г. и его внутригодового распределения представлены в виде карт прогнозных оценок в (% от стока 2010 года). На рис. 4 изображена карта годового изменения климатического стока. При прогнозируемых трендах комплекса климатических параметров на 2020 г., сток рек бассейнов Западной Двины и Вилии уменьшится в среднем на 5 – 10 % по сравнению с уровнем 2010 г. Годовой сток рек в бассейнах Немана и Западного Буга значительных изменений не претерпит. Максимальный рост среднегодового стока воды рек может произойти в бассейнах Днепра и Припяти и может достигать для отдельных водосборов 20 %. Наибольшая возможная внутригодовой трансформации речного стока произойдет в марте – июне.

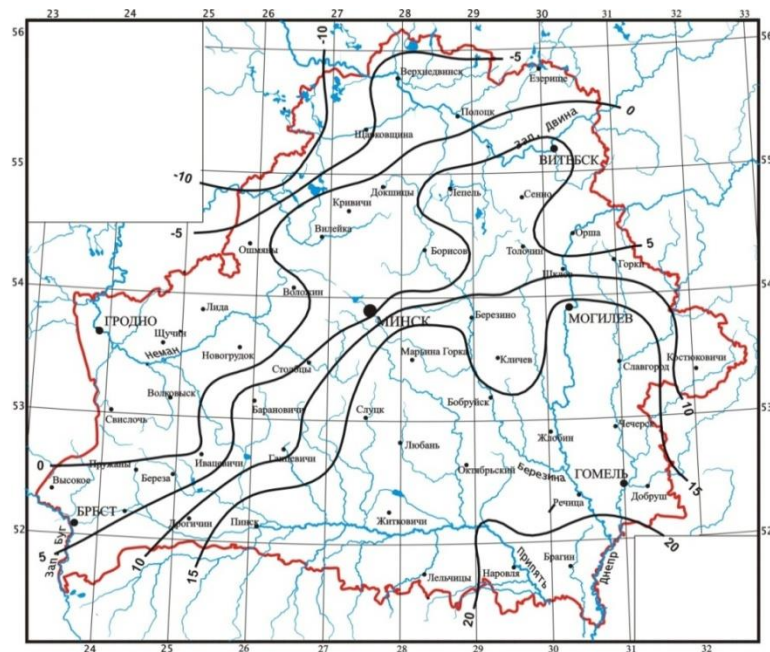


Рисунок 4 – Возможные изменения речного стока в зависимости от прогнозируемого изменения климата в 2020 г., в % по отношению 2010 г.

Годовые значения стока будут изменяться в направлении от северо-запада к юго-востоку территории Беларуси составят от -10 % до 25 %. В зимний период существенное (до 35 %) изменение климатического стока в сторону увеличения произойдет в Витебской и Могилевской областях. Для весеннего половодья характерно повышение климатического стока (до 40 %) в южной и восточной частях территории Беларуси. В мае возможно увеличение стока (до 70 %) в районе Житковичей, в целом в мае колебания

стока составят от -10 % до 40 %. Для летнего периода возможно изменение стока в среднем от -40 % до 70 %. В сентябре – октябре вероятна тенденция уменьшения стока (до 70 %) практически на всей территории Беларуси [3].

По второму варианту использовались прогнозные оценки для двух сценариев развития климата А1В и В1 для 24 рек водосбора бассейна Немана в рамках проекта «Управление водными ресурсами бассейна реки Неман с учетом адаптации к изменению климата» программы пилотных проектов Европейской Экономической Комиссии Организации Объединенных наций, выполненные совместно со специалистами из ЦНИИКИВРа. А1В (relatively high-emission scenario) – более «жесткий» сценарий, относительно высокие выбросы парниковых газов за счет быстрого развития экономики и роста численности населения до середины XXI века, а затем замедление роста населения, быстрое внедрение современных технологий и сбалансированное использование энергетических ресурсов, а В1 (low-emission scenario) – более «мягкий» сценарий, невысокие выбросы парниковых газов, весьма вероятна внезапная глобализация, число жителей изменяется подобно тому, как планируется в сценарии А1, но происходит весьма быстрое превращение экономической системы в информационную, а также общество становится менее потребительским, интенсивное внедрение новых чистых технологий.

Оценка и тенденции изменения метеорологических характеристик осуществлялась на основе их характеристик за период с 1961 по 2010 гг. Это позволило установить увеличение среднегодовой температуры воздуха, а также температуры в зимний и летний периоды (наиболее значительное повышение температуры произошло в январе); увеличение количества осадков в зимнее время; снижение стока весеннего половодья с более ранним наступлением его пика, увеличение стока в зимний период на большей территории бассейна.

Долгосрочные на период 35 – 50 лет (2021 – 2050 гг.) сценарии изменения климата для бассейна р. Неман получены путем расчетов по региональной климатической модели CCLM с использованием выходных данных глобальной климатической модели ECHAM5. Региональная климатическая модель включает большую часть Европы и наиболее приемлема для ее использования при прогнозировании изменения климата.

Прогноз изменения стока на период с 2021 по 2050 гг. выполнялся с использованием двух методологически схожих гидрологических моделей для сценариев А1В и В1 с использованием модели WatBal с расчетами суммарного испарения и водного баланса (расчеты выполнены экспертами из Литвы) и белорусской модели гидролого-климатических расчетов «Баланс».

По прогнозам изменения стока на период 2021 – 2050 гг. сохраняются выявленные за период с 1961 по 2009 гг. тенденции незначительного увеличения среднегодового стока в бассейне р. Неман. Увеличение стока может произойти в зимний период (до +40 %), в основном в январе и в феврале, за счет увеличения количества осадков и частоты оттепелей; максимальный поверхностный сток весеннего половодья может уменьшиться

на большей части бассейна р. Неман, весеннее половодье также будет начинаться раньше из-за более короткой продолжительности периода снежного покрова. Резкого возрастания риска наводнений в бассейне не прогнозируется, за исключением верховий Немана. Вместе с тем, риски наводнений могут повыситься при росте интенсивности освоения пойм рек, в том числе в результате изменений в землепользовании.

Неопределенности прогнозирования стока с учетом изменения климата с использованием гидрологических моделей обусловлены как погрешностями самих моделей и их верификации, так и неопределенностями используемых в них исходных данных.

В качестве примера на рис. 5 приведены прогнозные изменения гидрографа стока р. Неман в створе г. Столбцы для различных сценариев развития климата, а в таблице представлены средние значения изменения стока рек бассейна Неман.

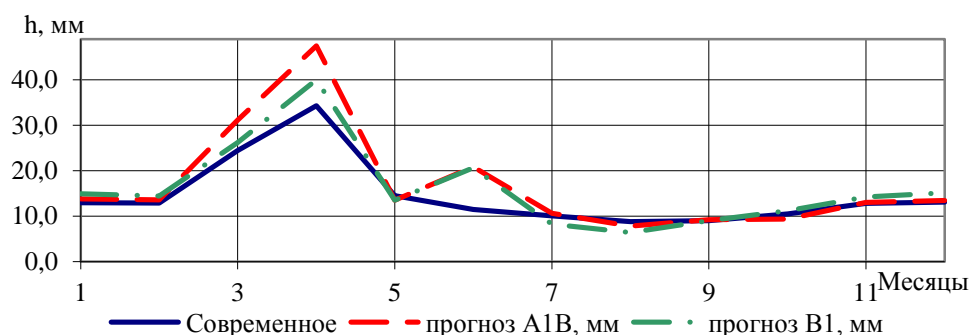


Рисунок 5 – Гидрографы годового стока р. Неман в створе г. Столбцы для различных сценариев климата.

Согласно обобщенного прогноза будущего воздействия изменения климата на качество воды ожидается снижение содержания растворенного кислорода в поверхностных водах в летний период на $0,25 \text{ мг/дм}^3$; возможное увеличение минерализации на 3 – 10 %. В результате снижения содержания растворенного кислорода может произойти увеличение концентраций биогенных загрязняющих веществ, а также ухудшение гидробиологических показателей качества поверхностных вод.

Таблица – Средние значения стока рек бассейна р. Неман в % к 2010 г. для различных сценариев развития климата

Месяцы												Год
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
<i>Сценарий изменения климата А1В</i>												
126,4	124,1	112,9	120,3	152,1	136,0	108,5	104,1	111,3	95,9	110,1	123,1	119,2
<i>Сценарий изменения климата В1</i>												
106,1	112,6	110,1	100,7	126,7	139,6	90,9	91,4	132,6	117,4	107,8	123,3	112,2

Прогноз стока в бассейне Немана с учетом изменения климата и перспективного водопользования на территории Беларуси можно свести к следующему: воздействие изменения климата на поверхностный сток будет более значительным в сравнении с прогнозируемым изменением

водопользования. По прогнозам, использование воды для промышленности в Беларуси будет увеличиваться на 0,5 – 2,0 % в год в случае оптимистичного сценария экономического развития, что будет оказывать незначительное влияние на режим поверхностного стока. Изменение стока в большей степени будет связано с природными факторами, а не с прогнозным изменением водопользования, максимальное сокращение поверхностного стока за счет прогнозного водопользования может составлять до 5 %, в то время как его максимальное сокращение в летне-осенний период связанных с изменением климата, может составлять до 20 %.

Заключение. Полученные результаты требуют дальнейшей апробации с привлечением массовых экспериментальных данных, анализа возможных ошибок прогноза практической разработки на их основе компенсационных мероприятий по уменьшению последствий влияния изменения климата на водные ресурсы Беларуси. 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 потребности всех отраслей экономики и требованиям экологического стока. Однако это не снимает проблему очистки природных и сточных вод, качества природных, безопасность функционирования водных экосистем.

Список использованных источников

1. Волчек, А.А. Методика определения максимально возможного испарения по массовым метеоданным (на примере Белоруссии) / А.А. Волчек // Мелиорация и водное хозяйство. – 1986. – №12. – С.17 – 21.
2. Волчек, А.А. Минимальный сток рек Беларуси / А.А. Волчек, О.И. Грядунова // Брест. гос. ун-т имени А.С. Пушкина. – Брест: БрГУ, 2010. – 169 с.
3. Волчек, А.А. Оценка и прогноз естественных водных ресурсов Беларуси / А.А. Волчек, С.И. Парфомук // Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства : сб. науч. тр. / ФГБОУ ВПО РГАТУ; под ред. Н.В. Бышова. – Рязань, 2013. – С.434 – 440.
4. Волчек, А.А. Пространственно-временные колебания дождевых паводков на реках Белоруссии / А.А. Волчек, Т.А. Шелест // Известия РАН. Серия географическая, 2012, №3, С. 76 – 83.
5. Гидрологические расчеты в мелиоративных целях. Ч. I / В.С. Мезенцев, Г.В. Белоненко, И.В. Карнацевич, В.В. Лоскутов – Омск, 1980 – 80 с.
6. 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.