

- [2] Интернет ресурс. Режим доступа: <http://www.meteo.tj/files/doc/glaciers.pdf>
- [3] Салимов Т. Таджикистан страна истоков вод. Душанбе – 2002, -56с.
- [4] Реки и озера Таджикистана / Государственное учреждение по гидрометеорологии КООС при Правительстве РТ, Душанбе, 2008, -27с.
- [5] Интернет ресурс. Режим доступа: <http://www.vigorconsult.ru/resources/vodnyie-konfliktyi-geopoliticheskaya-situatsiya-v-regionah-mira/>
- [6] Ледники Таджикистана / Главное управление по гидрометеорологии и наблюдениям за природной средой Министерства охраны природы РТ, Душанбе – 2003, -34с.
- [7] Программа реформы водного сектора Таджикистана на период 2016-2025годы / Утвержден постановлением Правительства РТ от 30 декабря 2015 года, №791.
- [8] Интернет ресурс. Режим доступа: <https://rus.ozodi.org/a/25265508.html>
- [9] Икромов И.И., Джан Хуйфан Водные ресурсы Республики Таджикистан и пути их рационального использования / «Кишоварз» (Земледелец). Вестник Тадж. Аграр. Университ., 2012, № 3 (дополнит.), -С.36-38.
- [10] Икромов И.И., Мирзоев М.М. Ирригационно-хозяйственные условия и их влияния на мелиоративное состояние орошаемой территории Вахшской долины / Вестник Таджикской Академии сельскохозяйственных наук РТ, №2 (44), 2015, -С.24-29.

### Глава II/73: ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ БЕЛАРУСИ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

#### Chapter II/73: Forecast of Changes in Water Resources of Belarus with Consideration of Climate Change

Александр А. Волчек\*<sup>1</sup>; Владимир Н. Корнеев<sup>2</sup>; Сергей И. Парфомук<sup>1</sup>

DOI 10.25680/4641.2018.49.65.170

\*Эл. Почта: [volchak@tut.by](mailto:volchak@tut.by)

1. Брестский государственный технический университет, ул. Московская 267, 224017, Брест, Беларусь
2. Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов, ул. Славинского 1, корпус 2, 220086, Минск, Беларусь

**РЕЗЮМЕ.** Для разработки прогнозов изменения водных ресурсов Беларуси выполнена оценка их изменения за период с 1961 года по настоящее время. В среднем по стране произошло незначительное увеличение стока за счет бассейнов рек Западная Двина, северной и северо-восточной части бассейна реки Днепр. Увеличилась неравномерность изменений стока по территории Беларуси. Отмечено внутригодовое перераспределение стока в период с 1961 по 2015 годы. Прогноз стока на период до 2035 года показал возможность резкого различия между северной и южной частью республики, между малыми и большими реками. При незначительном изменении среднегодового стока выявлены большая неравномерность и различные направления изменений внутри года. Особенно значительно может изменяться сток в летние месяцы на юге Беларуси. Вместе с тем для севера Беларуси прогнозируются не столь значительные изменения стока, как для юга.

**Abstract.** To develop forecasts of changes in water resources of Belarus the analysis of their changes over the period from 1961 to the present is made. There was a slight increase in average annual runoff through the Western Dvina River basin and Northern and North-Eastern parts of the Dnieper River basin. There was increasing of irregularity of changes in runoff in the territory of Belarus. The intra-annual redistribution of runoff in the period 1961 to 2015 was investigated. The forecast of runoff for the period up to 2035 showed the possibility of sharp differences between the Northern and Southern parts of the Republic, also between small and large rivers. With little change in average annual runoff the large irregularities and various changes within the year were discovered. Especially much runoff can change in summer months in the South of Belarus. However, for the Northern part of Belarus it was forecasted not as significant runoff changes like for the Southern part.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** водные ресурсы, речной сток, анализ, трансформация, изменение, прогноз, Беларусь

**Keywords:** water resources, river runoff, analysis, transformation, change, forecast, Belarus

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема изменения климата в Республике Беларусь является одним из приоритетных направлений исследований на государственном уровне. Это подтверждается как присоединением Республики Беларусь к международным соглашениям по климату и выполнением обязательств по ним, так и разработкой и внедрением мероприятий по сокращению выбросов парниковых газов и разработкой мер по адаптации к изменениям климата внутри страны. Речной бассейн является природной средой формирования стока, который служит основным источником водных ресурсов. Главными отличиями водных ресурсов от других видов природных ресурсов являются непрерывное их возобновление в процессе круговорота воды и колебания величины стока. Существенное влияние на сток оказывает наблюдаемое глобальное потепление климата. В последнее время на территории Беларуси отмечен рост среднегодовой температуры воздуха, некоторое уменьшение атмосферных осадков, изменение направления и скорости ветра. По данным академика В.Ф. Логинова, самое теплое десятилетие за период инструментальных наблюдений приходится на 1990-е гг. [1].

Целью настоящего исследования является оценка изменения стока основных речных бассейнов Беларуси за период с 1961 года и его прогноз на период до 2035 года.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для прогнозов изменения климата должны использоваться как глобальные, так и региональные климатические модели, которые основаны на описании процессов в динамике и базируются на численном решении систем уравнений в частных производных математической физики.

Самыми известными и широко используемыми в настоящее время являются глобальная климатическая модель ECHAM5 и региональная климатическая модель SCLM [2].

ECHAM5 в настоящее время является самой последней версией модели ECHAM. Основными компонентами модели являются динамическое ядро, система адвективного переноса, физические параметры (коротко- и длинноволновая радиация, слоистая облачность, конвективная облачность, горизонтальная и вертикальная диффузия, поверхностные потоки, орографические эффекты), параметры земной поверхности.

Для выполнения прогнозов изменения климата региональная климатическая модель SCLM является наиболее приемлемой, учитывая опыт ее использования в соседних государствах и в международных проектах ЭК ООН и ENVSEC по управлению водными ресурсами трансграничных рек с учетом адаптации к изменению климата.

Для прогнозных оценок изменения стока рек бассейнов адаптирован метод гидролого-климатических расчетов, предложенный В.С. Мезенцевым, основанный на совместном решении уравнений водного и теплоэнергетического балансов [3]. Уравнение водного баланса речного водосбора за некоторый промежуток времени имеет вид:

$$H(I) = E(I) + Y_k(I) \pm DW(I), \quad (1)$$

где  $H(I)$  – суммарные ресурсы увлажнения, мм;  $E(I)$  – суммарное испарение, мм;  $Y_k(I)$  – суммарный климатический сток, мм;  $DW(I)$  – изменение влагозапасов деятельного слоя почвогрунтов, мм;  $I$  – интервал осреднения.

Суммарное испарение находится по формуле:

$$E(I) = E_m(I) + \frac{W_{HB}}{KX(I) + g(I) + V(I)}, \quad (2)$$

где  $E_m(I)$  – максимально возможное суммарное испарение, мм;  $W_{HB}$  – наименьшая влагоемкость почвы, мм;  $V(I) = W(I) / W_{HB}$  – относительная влажность почвогрунтов на начало расчетного периода;  $KX(I)$  – сумма измеренных атмосферных осадков, мм;  $g(I)$  – грунтовая составляющая

водного баланса, мм;  $r(I)$  – параметр, зависящий от водно-физических свойств и механического состава почвогрунтов;  $p(I)$  – параметр, учитывающий физико-географические условия стока. Относительная влажность почвы на конец расчетного периода определяется из соотношений

$$V(I+1) = V(I) \times \frac{\alpha_{cp}(I) \delta^{r(I)}}{\epsilon V(I) \delta} ; \quad (3)$$

$$V_{cp}(I) = \frac{\frac{\alpha K X(I) + g(I)}{W_{HB}} + V(I) \delta^{\frac{1}{r(I)}}}{\frac{E_m(I)}{W_{HB}} + V(I) \delta^{1-r(I)}} \cdot \delta . \quad (4)$$

Решение системы уравнений (1) – (4) осуществляется методом итераций до тех пор, пока значение относительной влажности почвогрунтов на начало расчетного интервала не будет равно значению относительной влажности на конец последнего интервала.

Корректировка климатического стока осуществляется с помощью коэффициентов, учитывающих влияние различных факторов на формирование руслового стока, т.е.

$$Y_p(I) = k(I) \cdot Y_k(I), \quad (5)$$

где  $Y_p(I)$  – суммарный русловой сток, мм;  $k(I)$  – коэффициент, учитывающий гидрографические характеристики водосбора.

Моделирование водного баланса исследуемой реки реализовано в виде компьютерной программы и осуществляется в два этапа. На первом этапе производится настройка модели по известным составляющим водного и теплового балансов исследуемой реки. Второй этап представляет собой непосредственный расчет водного баланса исследуемой реки, используя параметры, полученные при калибровке модели [4].

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

В исследованиях использованы данные по 51 посту с наиболее продолжительными и непрерывными периодами наблюдений за стоком и при условии наличия данных за указанный период.

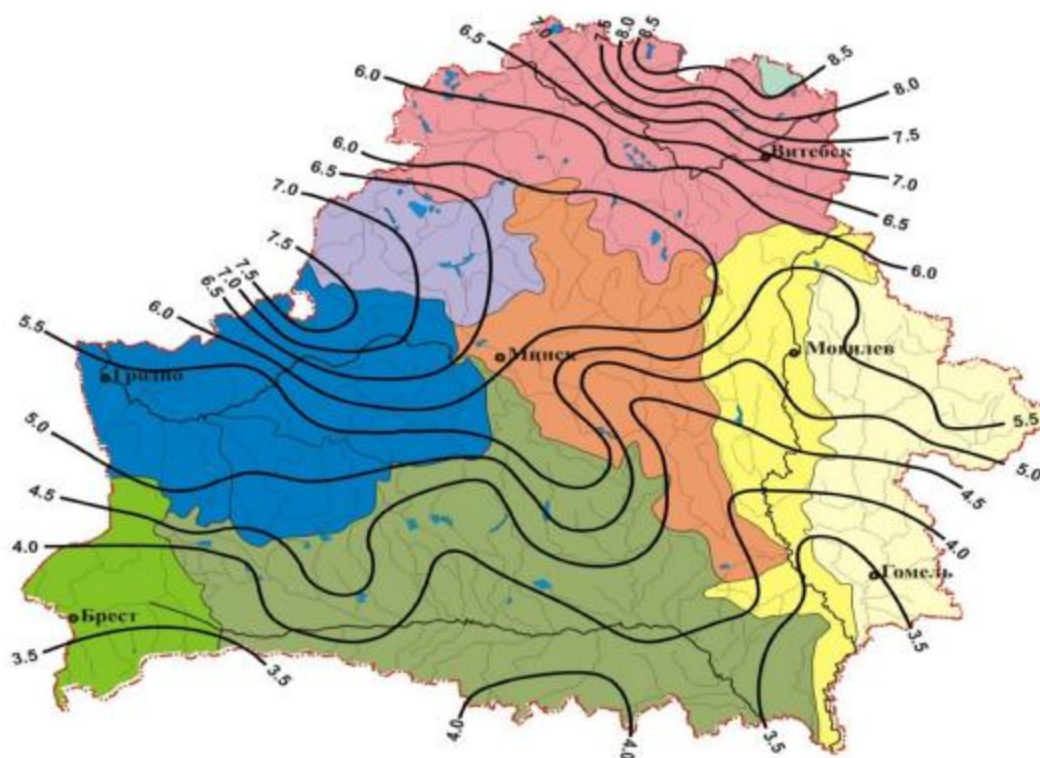
Нами рассчитаны поверхностные водные ресурсы Беларуси за период с 1961 по 2015 гг. Суммарные поверхностные ресурсы Беларуси практически не изменились. В то же время произошло перераспределение естественных водных ресурсов по бассейнам основных рек. Так, для южной части Беларуси – бассейнов рек Припять, Западный Буг, южной части бассейнов Днепра и Немана – характерно снижение стока практически во все сезоны, за исключением зимнего, где имеет место увеличение стока. Исключение составляет бассейн Западного Буга, для которого характерно снижение стока во все сезоны года. Значительные изменения стока произошли в весенний период, связанные со снижением стока весеннего половодья и более ранним его наступлением. Особенно это характерно для юга Беларуси – бассейнов рек Припять, Западный Буг, южной части бассейна Днепра. В весенний, летний и осенний период прослеживается разная направленность изменения стока, особенно в летний период – его снижение по югу и западу Беларуси и увеличение по северу и северо-востоку.

С целью уточнения водных ресурсов Беларуси построена карта среднегодового модуля стока рек Беларуси, представленная на рисунке 1. При построении учитывались данные с 1961 по 2015 гг. по действующим гидрологическим постам.

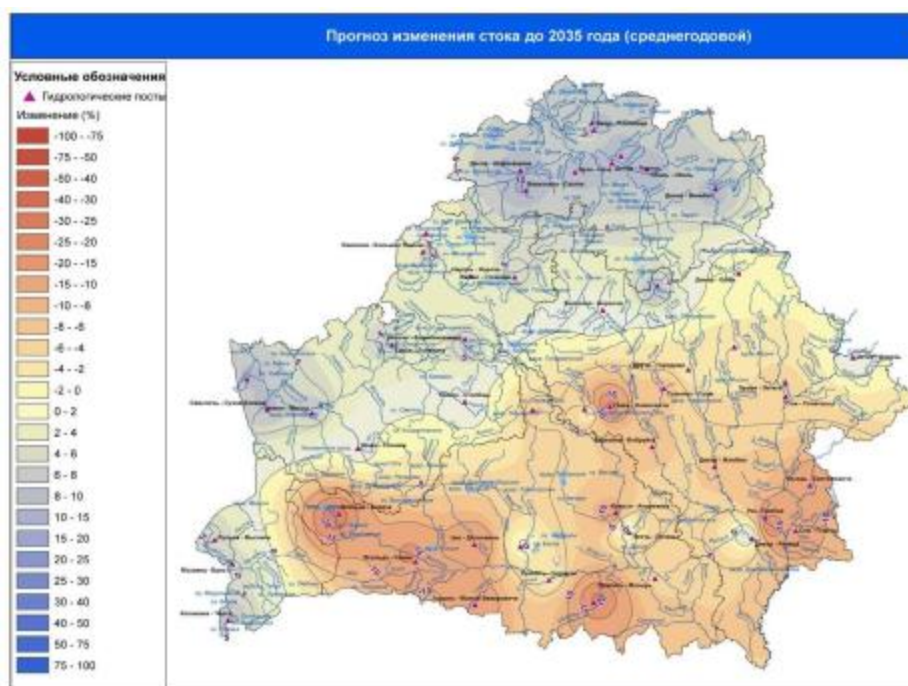
## ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Для прогноза изменения речного стока получены долгосрочные на период 35 – 50 лет (2021 – 2050 гг.) сценарии изменения климата для бассейнов рек Беларуси по региональной климатической модели SCLM с использованием выходных данных глобальной климатической модели ECHAM5. Сценарии изменения климата получены для двух вариантов (сценариев) выбросов парниковых газов (принятых в мировой практике и наиболее используемых для оценок изменения климата сценариев социально-экономического развития человечества) [5]

По разработанной методике выполнены прогнозные оценки по бассейнам основных рек Беларуси для двух сценариев развития климата A1B и B1. Карта прогнозного изменения стока рек Беларуси в годовом разрезе представлена на рисунке 2.



**Рисунок 1** – Карта среднего годового стока рек Беларуси за период 1961–2015 гг., л/(с·км<sup>2</sup>)



**Рисунок 2** – Прогноз изменения годового стока на период до 2035 года

При изменении климата получены следующие обобщенные характеристики прогноза стока. По объемам стока возможна резкая дифференциация между северной и южной частью республики, между малыми и большими реками. При увеличении стока в среднем за год, отмечается неравномерность и разнонаправленность в сезоны и месяцы. Особенно резко прослеживается разная направленность изменения стока в летние месяцы.

В среднем за год возможно увеличение стока на 9 % в бассейне реки Западная Двина (север) и снижение стока на 1,5 % в бассейне реки Западный Буг (юг). В зимний период прогнозируется не очень значительное увеличение стока для всех исследуемых территорий на 7–13 %. Весной прогнозируется увеличение стока не более чем на 6–10 %. В летний период возможно увеличение стока на севере на 10–29 % при одновременном снижении стока на юге на 11–35 %.

По прогнозам изменения стока реки Неман сохраняются выявленные за период с 1961 по 2015 г. тенденции незначительного увеличения среднегодового стока в среднем по бассейну. Максимальное увеличение стока может произойти в зимний период (до 24 %), в основном в январе и феврале, за счет увеличения количества осадков и оттепелей. Прогнозируемый сток в летний период может измениться не очень значительно, как с его увеличением, так и уменьшением. Более значительное уменьшение стока прогнозируется в осенний период, особенно в его начале.

По результатам расчетов стока в бассейнах рек Днепр и Припять до 2035 года можно сделать следующие выводы о прогнозном изменении:

- снижение среднегодового стока, особенно в бассейне реки Припять;
- незначительное изменение стока в зимний период по большинству рек, с его увеличением в среднем по бассейну реки Днепр и уменьшением в бассейне Припять;
- в весенний период, за редким исключением, вероятно снижение стока;
- в летний период прогнозируется существенное и максимальное из всех периодов года уменьшение стока, особенно в бассейне Припяти;
- в осенний период (особенно в начале осени – до середины октября) также прогнозируется снижение стока.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Выполнена оценка изменения речного стока Беларуси за период с 1961 по 2015 год по основным речным бассейнам страны.
2. В среднем по Республике сток значительно не изменился, отмечено некоторое его увеличение на 0,5–4,0 % за счет бассейнов рек Западная Двина, северной и северо-восточной части бассейна реки Днепр.
3. Даны прогнозные оценки годового стока основных рек Беларуси на период до 2035 года.
4. При незначительном изменении прогнозного значения стока в среднем за год отмечена 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.

## **ЛИТЕРАТУРА**

- [1]Изменения климата Беларуси и их последствия / В.Ф. Логинов [и др.]; Ин-т пробл. использования природ. ресурсов и экологии НАН Беларуси; под общ. ред. В.Ф. Логинова. – Минск : ОДО «Тонпик», 2003. – 330 с.
- [2]Max Planck Institute for Meteorology – official website [Electronic resource] – Mode of access: <http://www.mpimet.mpg.de/en/science/models/echam/echam5.html>. – Date of access: 05.05.2012.
- [3]Мезенцев, В.С. Гидролого-климатическая гипотеза и примеры ее использования/ В.С. Мезенцев // Водные ресурсы, 1995. – Том 22, №3. – С. 299 – 301.
- [4]Волчек, А.А. Оценка трансформации водного режима малых рек Белорусского Полесья под воздействием природных и антропогенных факторов (на примере р. Ясельда) / А.А. Волчек, С.И. Парфомук // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – Екатеринбург, 2007. – № 1. – С. 50 – 62.
- [5]Изменение климата, 2007. Вклад рабочих групп I, II и III в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата : обобщающий докл. / Пачаури Р.К. [и др.]. – Женева : МГЭИК, 2007. – 104 с.