

А.А. Волчек, В.Н. Корнеев, С.И. Парфомук

## ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА РЕК БЕЛАРУСИ С УЧЁТОМ АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА

### Введение

Речной сток в основном формируется под воздействием природно-климатических факторов, однако в последнее время антропогенные воздействия становятся всё более существенными и в ряде случаев соизмеримы с естественными процессами формирования стока. Мощным антропогенным фактором, оказывающим значительное влияние на речные экосистемы, служат крупномасштабные мелиорации, начало которых приходится на середину 60-х годов прошлого столетия. Южная часть Беларуси сильнее всего подверглась мелиоративным воздействиям, что не могло не сказаться на речном стоке. Кроме того, 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 В.Ф. Логинова, самое тёплое десятилетие за период инструментальных наблюдений приходится на 1990-е годы (Логинов и др., 2003). Отмеченные изменения климата связаны с цикличностью колебаний климата и в определённой мере с ростом концентрации парниковых газов в атмосфере.

Проблема изменения климата в Республике Беларусь – одно 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.

Правовые основы изучения климатических изменений определены Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 23 января 2007 г. № 75 (Постановление..., 2007), в котором изучение региональных изменений климата вошло в Перечень работ общего-

сударственного значения в области гидрометеорологической деятельности. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 4 октября 2006 г. № 1301 утверждено Положение о государственном климатическом кадастре (Постановление..., 2006).

В условиях интенсивного экономического развития республики необходим анализ риска в отношении развития водоёмких отраслей промышленного производства и сельского хозяйства в условиях изменения климата. Цель настоящего исследования – оценить изменения стока основных речных бассейнов Беларуси (Западная Двина, Западный Буг, Неман, Днепр, Припять) за период с 1961 г. и его прогноз на период до 2035 г.

### **Используемые материалы и методика исследований**

Исходными данными послужили материалы наблюдений Государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь за различными видами стока по действующим гидрологическим постам Беларуси за период инструментальных наблюдений по 2015 г. включительно, опубликованные в материалах государственных кадастров. В исследованиях по оценке изменения стока за период с 1961 по 2015 г. и его прогнозу на период до 2035 г. использованы данные по 51 посту с наиболее продолжительными и непрерывными периодами наблюдений за стоком и при условии наличия данных за указанный период. При необходимости непрерывных интервалов данных за начало расчётного периода принимался 1945 г. – время послевоенного восстановления наблюдений на гидрологической сети.

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. Кроме того, необходимость использования климатических моделей для прогноза метеорологических показателей вместо статистических методов обработки метеорологических данных обусловлена многообразием как природных, так и антропогенных факторов – как в целом на планете, так и в регионе, которые оказывают и потенциально могут оказывать влияние на изменение климата (Руководство..., 2009).

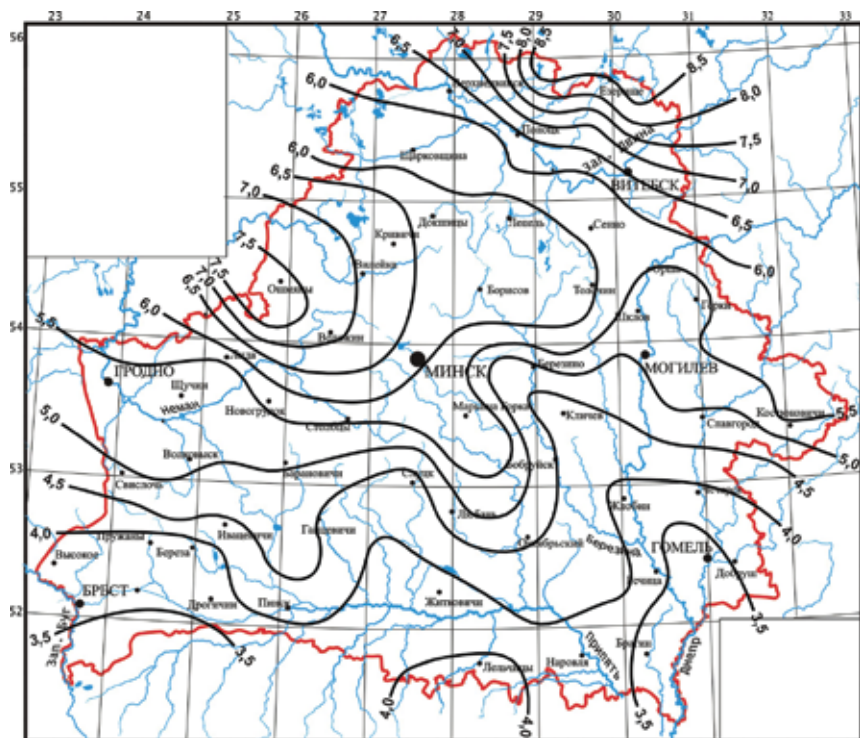


Рис. 1. Модуль среднего годового стока рек Беларуси за период 1956–2015 гг., л/(с·км<sup>2</sup>)

Самые известные и широко используемые в настоящее время – это глобальная климатическая модель ECHAM5 и региональная климатическая модель SCLM (Мах..., 2012). ECHAM представляет собой глобальную климатическую модель, разработанную в Институте метеорологии Макса Планка. Она была создана в процессе модификации глобальных моделей прогноза климата в Европейском Центре среднесрочных прогнозов (ECMWF) и поэтому её название представляет собой комбинацию сокращённых аббревиатур мест её происхождения (ЕС) и развития (Гамбург, NAM). В настоящее время ECHAM5 является самой последней версией модели ECHAM. Основные компоненты модели – 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.

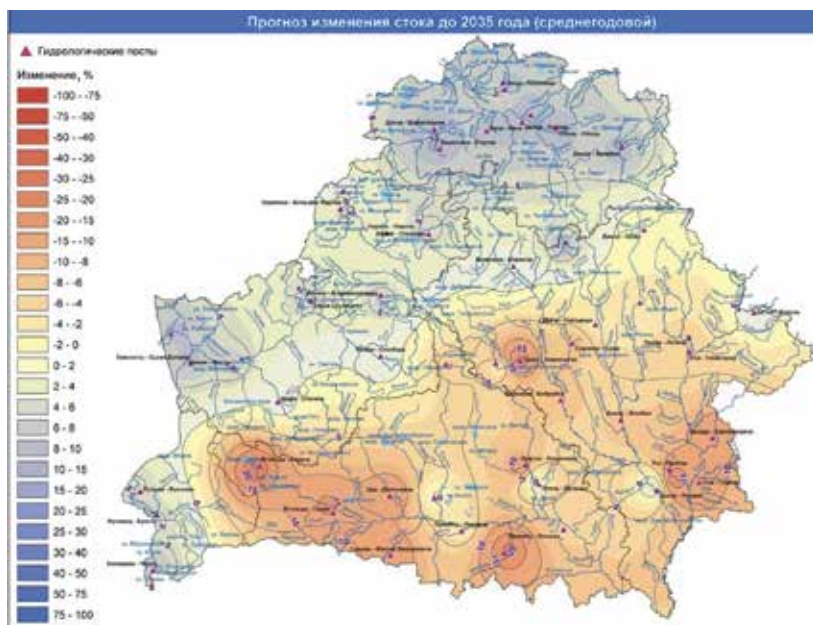


Рис. 2. Прогноз изменения годового речного стока на период до 2035 г.

Региональная климатическая модель CCLM в настоящее время применяется для разработки сценариев изменения климата и экстремальных погодных явлений. Модель оперирует примерно 100 параметрами, состоит из нескольких относительно независимых модулей и покрывает территорию Европы, Африки и Индии. Для выполнения прогнозов изменения климата эта модель наиболее приемлема, особенно учитывая опыт её использования в соседних государствах и в международных проектах ЕЭК ООН и ENVSEC по управлению водными ресурсами трансграничных рек с учётом адаптации к изменению климата (с использованием выходных данных глобальной климатической модели ECHAM5 в качестве граничных и начальных условий).

Для прогнозных оценок изменения стока рек бассейнов адаптирован метод гидролого-климатических расчётов, предложенный В.С. Мезенцевым (1995). Он основан на совместном решении уравнений водного и теплоэнергетического балансов. На основе гидролого-климатической гипотезы В.С. Мезенцева разработана многофакторная модель, включающая стандартное уравнение водного баланса участка суши с независимой оценкой основных элементов баланса

(атмосферные осадки, суммарное испарение и климатический сток) в годовом разрезе. Разработанная модель использована для оценки возможных изменений водных ресурсов рек в зависимости от тех или иных гипотез климатических колебаний и антропогенных воздействий на характеристики водосборов.

Уравнение водного баланса речного водосбора за некоторый промежуток времени имеет вид:

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

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, мм;  $I$  – интервал осреднения.

Суммарное испарение находится по формуле:

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

где  $E_m(I)$  – максимально возможное суммарное испарение, мм;  $W_{HB}$  – наименьшая влагоёмкость почвы, мм;  $V(I) = W(I)/W_{HB}$  – относительная влажность почвогрунтов на начало расчётного 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;  $n(I)$  – параметр, учитывающий физико-географические условия стока.

Относительная влажность почвы на конец расчётного периода определяется из соотношений

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

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

Полученные значения  $V_{cp}(I)$  сравнивают с относительной величиной полной влагоёмкости  $V_{ПВ}$ . Если  $V_{cp}(I) \leq V_{ПВ}$ , то принимается расчётное значение относительной средней влажности, в противном случае, когда  $V_{cp}(I) \geq V_{ПВ}$ , к расчёту принимается  $V_{cp}(I) = V_{ПВ}$ , разница  $(V_{cp}(I) - V_{ПВ}) \cdot W_{НВ}$  относится к поверхностному стоку.

Система уравнений (1) – (4) решается методом итераций до тех пор, пока значение относительной влажности почвогрунтов на начало расчётного интервала не будет равно значению относительной влажности на конец последнего интервала. При расчёте начальное значение влажности принимается равным значению наименьшей влагоёмкости, т.е.  $W(1) = W_{НВ}$ , откуда  $V(1) = 1$ . Сходимость решения методом гидролого-климатических расчётов достигается уже на четвёртом шаге расчёта.

Корректировка климатического стока выполняется 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 выполняется в два этапа. На первом этапе производится настройка модели по известным составляющим водного и теплового балансов исследуемой реки. При настройке модели преследуется цель достичь наибольшего соответствия рассчитанного климатического и руслового стоков. Первый этап заканчивается построением графиков климатического и руслового стока и выводом ошибки моделирования. Хорошее совпадение измеренного и рассчитанного стока свидетельствует о корректности модели. Полученные параметры модели использованы при проведении численного эксперимента.

Второй этап представляет собой непосредственный расчёт водного баланса исследуемой реки, используя параметры, полученные при калибровке модели. Расчёт элементов водного баланса исследуемой реки производится с учётом конкретных особенностей рассматриваемого водосбора (Волчек, Парфомук, 2007).

Результаты моделирования свидетельствуют о высокой точности расчёта водного баланса как для практического применения, так и для теоретических исследований, что проверено на большом количестве

рек Беларуси, где ведутся гидрометрические наблюдения. Таким образом, при наличии данных об атмосферных осадках, температуре воздуха, дефиците влажности воздуха на расчётный период и современных значениях стока реки, а также гидрографических характеристик водосбора с помощью приведённой методики возможно получить прогнозные оценки водного баланса малых рек Беларуси на расчётную перспективу.

### Результаты исследований

При анализе многолетних колебаний стока необходимо установить основные характеристики естественного процесса многолетних колебаний годового стока, т.е. возможности прогнозирования путём переноса режимных характеристик, определённых в прошлом, в будущее в их неизменном виде. В ходе исследований был проведён статистический анализ многолетних колебаний годового стока основных рек Беларуси с целью выявления квазипериодичности и тренда, а также установления статистической однородности рядов годовых расходов воды восьми основных рек Беларуси за период 1945–2015 гг. Основные статистические характеристики анализируемых рядов помещены в табл. 1. Исследуемые реки наиболее представительны для территории Беларуси, поэтому, исследовав многолетние изменения стока на данных водосборах, можно получить общие представления о стоке Беларуси в целом.

При проведении статистического анализа многолетних колебаний стока рек Беларуси получены оценки квазипериодичности, автокорреляции, тренда и статистической однородности рядов. Для исследования использованы различные параметрические и непараметрические критерии (Андерсон, 1976; Рождественский и др., 1990). При анализе тенденции к группировке лет повышенной и пониженной водности, т.е. квазипериодичности многолетних колебаний речного стока, исследовалась автокорреляция рассматриваемых рядов. В табл. 2 приведены оценки коэффициентов автокорреляции  $r(1)$ ,  $r(2)$  и  $r(3)$  между стоком смежных лет и стоком лет, удалённых на один и на два года соответственно. Для проверки статистической достоверности полученных значений автокорреляции использована статистика критерия Андерсона  $t(A)$ . При уровне значимости 5% превышение абсолютных

**Таблица 1.** Основные статистические характеристики рядов годового стока

Река – Створ	Период наблюдений, годы	Количество лет наблюдений	Площадь водосбора $A$ , км <sup>2</sup>	Норма стока $\bar{Q}$ , м <sup>3</sup> /с	Коэффициент вариации, $C_v$
Западная Двина – г. Полоцк	1945–2015	71	41700	310	0,25
Неман – г. Гродно	1945–2015	71	33600	188	0,17
Виляя – с. Михалишки	1946–2015	70	10300	63,5	0,19
Мухавец – г. Брест	1967–2015	49	6590	24,6	0,54
Днепр – г. Речица	1945–2015	71	58200	352	0,21
Березина – г. Бобруйск	1945–2015	71	20300	117	0,22
Сож – г. Гомель	1945–2015	71	38900	194	0,26
Припять – г. Мозырь	1945–2015	71	101000	400	0,33

значений этой статистики над критическим числом 1,96 означает достоверный характер автокорреляции. Значения критерия  $t(A)$  для оценок  $r(1)$  приведены в табл. 2, согласно которой статистически достоверная корреляция между стоком смежных лет наблюдается только у Припяти.

При исследовании квазипериодичности многолетних колебаний речного стока имеет смысл анализировать образование серий лет повышенной и пониженной водности, для чего используется критерий серий. Этот критерий основан на подсчёте числа многоводных и маловодных серий. Статистическая достоверность полученных результатов устанавливалась с помощью критерия серий  $t(u)$ . Значения числа серий и соответствующих им критериев  $t(u)$  приведены в табл. 2. Достоверная квазипериодичность многолетних колебаний стока имеет место для Западной Двины, Березины и Припяти, так как абсолютные значения соответствующих им критериев  $t(u)$  превышают критическое число 1,96 при уровне значимости критерия 5%.

При анализе наличия у исследуемых рядов монотонного тренда был использован непараметрический критерий тренда Спирмена, оценки которого  $r_s$ , а также значения статистики критерия  $t(S)$  приведены в табл. 2. При уровне значимости 5% превышение их абсолютных значений над критическим числом 1,96 означает наличие статистически достоверного возрастающего или убывающего тренда. Данный критерий выделил в качестве имеющих явный убывающий тренд ряды годовых расходов воды рек Виляя и Мухавец. Ряд многолетних колебаний годового стока Припяти имеет явный положительный тренд. Для р. Виляя наличие достоверного убывающего тренда объясняется строительством Вилейско-Минской водной системы в 1970-е годы. Достоверный



**Таблица 2.** Данные анализа квазипериодичности и тренда

Река – Створ	$r(1)$	$r(2)$	$r(3)$	$t(A)$	$u$	$t(u)$	$r_s$	$t(S)$	$r_m$	$f(m)$
Западная Двина – г. Полоцк	0,22	-0,05	0,16	1,69	23	-2,31	0,16	1,27	0,24	1,20
Неман – г. Гродно	0,00	0,09	-0,14	-0,04	29	-0,10	-0,06	-0,48	0,22	0,95
Вилия – с. Михалишки	0,16	0,14	0,04	1,19	29	-0,64	-0,39	-3,27	0,44	4,36
Мухавец – г. Брест	0,12	0,10	0,13	0,71	14	-1,93	-0,47	-3,22	0,41	2,29
Днепр – г. Речица	0,01	-0,15	-0,14	0,05	26	-1,41	0,14	1,05	0,16	0,52
Березина – г. Бобруйск	0,04	-0,09	-0,17	0,29	22	-2,55	0,04	0,33	0,12	0,28
Сож – г. Гомель	0,11	-0,18	-0,15	0,82	25	-1,77	0,21	1,66	0,18	0,66
Припять – г. Мозырь	0,36	0,06	0,04	2,79	22	-2,51	0,37	3,03	0,40	3,63

положительный тренд Припяти обусловлен не только мелиоративной составляющей, но и характером природных колебаний.

Ещё одним способом выявления значимых трендов у исследуемых рядов послужил параметрический критерий тренда, основанный на статистике Фишера. Для рядов многолетних колебаний годового стока рек Беларуси такие оценки рассматривались в виде многочленов третьей степени. В табл. 2 приведены оценки коэффициента корреляции между значениями ряда и соответствующими значениями тренда  $r_m$ , а также значения статистики критерия Фишера  $f(m)$ . Критическое значение для  $f(m)$ , соответствующее уровню значимости 5%, равно 2,8 (для реки Мухавец – 2,9). Данные из табл. 2 свидетельствуют о наличии явного тренда у Вилии и Припяти, что подтверждается критерием Спирмена.

Одна из последних фундаментальных работ по оценке состояния поверхностных вод Беларуси опубликована в 1996 г. (Плужников и др., 1996). В течение последних 20 лет водные ресурсы страны были подвержены трансформации в связи с воздействием естественных и антропогенных факторов. Мы рассчитали поверхностные водные ресурсы Беларуси за период с 1956 по 2015 г. 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 Припяти, Западного Буга, 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, связанные со снижением стока ве-

сеннего половодья и более ранним его наступлением, произошли в весенний период. Особенно это характерно для юга Беларуси – бассейнов Припяти, Западного Буга, южной части бассейна Днепра. В весенний, летний и осенний периоды прослеживается разная направленность изменения стока, особенно в летний период – снижение по югу и западу Беларуси и увеличение по северу и северо-востоку.

Также рассчитаны естественные водные ресурсы Беларуси с учётом асинхронности стока рек. Величина асинхронности зависит от совпадения либо несовпадения фаз водности на реках. Это определяется генетическими особенностями формирования осадков, выпадающих на водосбор при прохождении циклов из различных зон зарождения и их водности. В связи с этим даже для относительно небольших территорий сток рек Беларуси имеет разное генетическое происхождение, что и определяет асинхронность. При этом сток в целом по стране отличается от суммы по бассейнам основных рек из-за более существенного влияния эффекта асинхронности стока на всей территории страны, чем в отдельных регионах. Для бассейнов основных рек прослеживается достаточно тесная связь коэффициентов асинхронности от обеспеченности. С увеличением или уменьшением водности года эффект асинхронности увеличивается.

С целью уточнения водных ресурсов Беларуси построена карта среднегодового модуля стока рек Беларуси, представленная на рис. 1. При построении учитывались данные с 1956 по 2015 г. по действующим гидрологическим постам. Количество использованных постов достаточно для корректного отображения информации о годовом стоке на территории Беларуси. Приведённая на рис. 1 карта представляет собой оптимальное сочетание нескольких способов построения карт, использующих различные методы интерполяции и выполненных в разных компьютерных системах, что позволило получить объективную картину формирования среднегодового стока рек Беларуси в современных условиях.

Для прогноза речного стока рассчитаны долгосрочные на 35–50 лет (2021–2050 гг.) сценарии изменения климата для бассейнов рек Беларуси по региональной климатической модели CCLM 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 (Изменение..., 2007):

Вариант I: A1B (relatively high-emission scenario) – более «жесткий» сценарий, предполагающий относительно высокие выбросы парниковых газов за счёт быстрого развития экономики и роста численности населения до середины XXI в., а затем замедление роста населения, быстрое внедрение современных технологий и сбалансированное использование энергетических ресурсов.

Вариант II: B1 (low-emission scenario) – более «мягкий» сценарий, предполагающий невысокие выбросы парниковых газов, при этом весьма вероятно внезапная глобализация, число жителей изменяется подобно тому, как планируется в сценарии A1, но происходит весьма быстрое превращение экономической системы в информационную. Общество становится менее потребительским, интенсивно внедряются новые чистые технологии.

По разработанной методике выполнены прогнозные оценки по бассейнам рек Беларуси для двух сценариев развития климата A1B и B1. При изменении климата получены следующие обобщённые характеристики прогноза стока. По объёмам стока возможна резкая дифференциация между северной и южной частями республики, между малыми и большими реками. При увеличении стока в среднем за год ожидается 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 Западной Двины (север) и снижение стока на 1,5% в бассейне Западного Буга (юг). В зимний период прогнозируется не очень значительное увеличение стока (на 7–13%) для всех исследуемых территорий. 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%.

Прогноз изменения стока поверхностных водных объектов в бассейне Немана на период с 2021 по 2035 г. выполнялся с использованием двух методологически схожих гидрологических моделей: а) модели WatBal с расчётами суммарного испарения и водного баланса (расчёты по модели WatBal выполнены экспертами из Литвы) (Yates, 1996); б) модели гидролого-климатических расчётов на основании совместного решения уравнений водного и теплоэнергетического баланса (расчёты выполнены экспертами из Беларуси).

Согласно прогнозам изменения стока, сохраняются выявленные за период с 1961 по 2010 г. тенденции незначительного увеличения среднегодового стока в среднем по бассейну Немана. Максимальное увеличение стока может произойти в зимний период (до 24%), в основном в январе и феврале, за счёт увеличения количества осадков и оттепелей. Прогнозируемый сток в летний период может измениться не очень значительно, в сторону как его увеличения, так и уменьшения. Более значительное уменьшение стока прогнозируется в осенний период, особенно в его начале.

По результатам расчетов стока в бассейнах Днепра и Припяти до 2035 г. можно сделать следующие прогнозные выводы: снижение среднегодового стока, особенно в бассейне Припяти; незначительное изменение стока в зимний период по большинству рек, с его увеличением в среднем по бассейну Днепра и уменьшением в бассейне Припяти; 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.

Карта прогнозного изменения стока рек Беларуси в годовом разрезе представлена на рис. 2.

## **Выводы**

Оценка изменения речного стока Беларуси за период с 1961 по 2015 г. показала, что в среднем по республике оно незначительно, даже с некоторым увеличением на 0,5–4,0% за счет бассейна рек Западной Двины, северной и северо-восточной части бассейна Днепра. Однако в связи с изменением климата увеличилась неравномерность изменений стока, как по территории Беларуси, так и его внутригодовому распределению по сезонам года, а также в зависимости от размеров рек – больших, средних, малых. Так, для южной части Беларуси – бассейнов Припяти, Западного Буга, южной части бассейнов Днепра и Немана характерно снижение стока практически во все сезоны, за исключением зимнего, где имеет место его увеличение. Исключение составляет бассейн Западного Буга, для которого характерно снижение стока во все сезоны года. Значительные изменения стока, связанные

со снижением стока весеннего половодья и более ранним его наступлением, произошли в весенний период. Особенно это характерно для юга Беларуси – бассейнов Припяти, Западного Буга, южной части бассейна Днепра. В весенний, летний и осенний периоды прослеживается разная направленность изменения стока, особенно в летний период – снижение на юге и западе Беларуси и увеличение на севере и северо-востоке.

Прогноз стока на период до 2035 г. в основном подтвердил выявленные тенденции его изменения за период с 1961 по 2015 г. По прогнозным оценкам изменения объёмов стока, также возможна резкая дифференциация между северной и южной частями республики, между малыми и большими реками. При незначительном изменении стока в среднем за год, высока вероятность его неравномерности и разнонаправленности в отдельные сезоны и месяцы. Особенно значительно может измениться 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

- Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. М.: Мир, 1976. 755 с.
- Волчек А.А., Парфомук С.И. Оценка трансформации водного режима малых рек Белорусского Полесья под воздействием природных и антропогенных факторов (на примере р. Ясельда) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. Екатеринбург, 2007. № 1. С. 50–62.
- Изменение климата, 2007. Вклад рабочих групп I, II и III в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата: обобщающий доклад. Женева: МГЭИК, 2007. 104 с.
- Логинов В.Ф., Сачок Г.И., Микуцкий В.С., Мельник В.И., Коляда В.В. Изменения климата Беларуси и их последствия. Минск: ОДО «Тонпик», 2003. 330 с.
- Мезенцев В.С. Гидролого-климатическая гипотеза и примеры ее использования // Водные ресурсы. 1995. Т. 22. № 3. С. 299–301.
- Плужников В.Н., Фадеева М.В., Бучурин В.И. Водные ресурсы Беларуси, их использование и охрана // Природные ресурсы. 1996. № 1. С. 24–29.
- Постановление Совета Министров Республики Беларусь «О реализации Закона Республики Беларусь «О гидрометеорологической деятельности» от 23 января 2007 г. № 75.
- Постановление Совета Министров Республики Беларусь «Положение о государственном климатическом кадастре» от 4 октября 2006 г. № 1301.

Рождественский А.В., Ежов А.В., Сахарюк А.В. Оценка точности гидрологических расчетов. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 276 с.

Руководство по водным ресурсам и адаптации к изменению климата. ООН, Нью-Йорк и Женева, 2009.

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.

Yates D.N. WatBal: An integrated water balance model for climate impact assessment of river basin runoff // Intern. Journ. of Water Resources Development. 1996. V. 12. № 2. P. 121–140.

A.A. Volchak, V.N. Korneev, S.I. Parfomuk

## ASSESSMENT AND FORECAST OF CHANGES IN RIVER RUNOFF OF BELARUS WITH TAKING INTO CONSIDERATION THE ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE

Estimation of changes in river runoff of Belarus for the period from 1961 to 2015 is made. There was a slight increase of 0.5 to 4.0% of the annual runoff due to the Western Dvina River basin and Northern and North-Eastern parts of the Dnieper River basin. The non-uniformity of changes in runoff has increased in connection with climate change, both on the territory of Belarus and its intra-annual distribution of the seasons. 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, between small and large rivers. With little change in average annual runoff there is a high probability of its uneven and multi-directional in the seasons and months. Especially much the runoff can change in summer months with its decreasing in all seasons in the South part of Belarus. However, for the North part of Belarus is forecasted not as significant runoff changes like for the South.