

climatic (oceanic-continental) and floristic (boreo-nemoral) zones. Such territories are more sensitive to climatic and environmental shifts. A combination of high-resolution multi-proxy studies of pollen, diatom, chironomid, plant macrofossil records alongside with geochemical, loss-on-ignition, grain-size, mineral magnetic, and ^{14}C measurements provides an information describing the vegetation changes, characterisation of the sedimentary response of lacustrine systems, palaeoclimatic shifts, chronological framework of newly identified environmental variations and etc.

During the recent years the multi-proxy investigations were conducted in the territories of Belarus and Lithuania. Common scientific investigations were provided by the international research team representing the State Research Institute Nature Research Centre, Vilnius, Lithuania, Institute for Nature Management, National Academy of Sciences, Minsk, Belarus and Belarusian State University, Minsk, Belarus.

The following questions have been discussed:

- the temporal and spatial magnitude of Postglacial climate variability based on chironomid data;

- based on the identified abiotic and biotic markers the sedimentary response of lacustrine systems during the periods of climatic shifts of different magnitude have been analysed;

- the development of Postglacial vegetation along a W-E transect emphasising the pattern of local and regional changes have been described;

- based on newly defined chronological framework of the identified environmental and climatic shifts correlation of this data with regional and global records have been conducted.

УДК 556.135(476)

А. А. ВОЛЧЕК

Беларусь, Брест, БрГТУ

E-mail: Volchak@tut.by

ПРОГНОЗНЫЕ ОЦЕНКИ ВОДНОГО РЕЖИМА РЕК БЕЛАРУСИ

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 г. и его прогноз на период до 2035 г.

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 CCLM [2].

ЕCHAM5 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 CCLM является наиболее приемлемой, учитывая опыт ее использования в соседних государствах и в международных проектах ЕЭК 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:

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

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:

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

где $E_m(I)$ – максимально возможное суммарное испарение, мм; W_{HB} – наименьшая влагоемкость почвы, мм; $V(I) = W(I)/W_{HB}$ – относительная влажность почвогрунтов на начало расчетного периода; $X(I)$ – 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 расчетного периода определяется из соотношений

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

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

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 русловый 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-го 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 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 периоды 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 среднего годового модуля стока рек Беларуси (рисунок 1). При построении учитывались данные с 1961-го по 2015 г. по действующим гидрологическим постам.

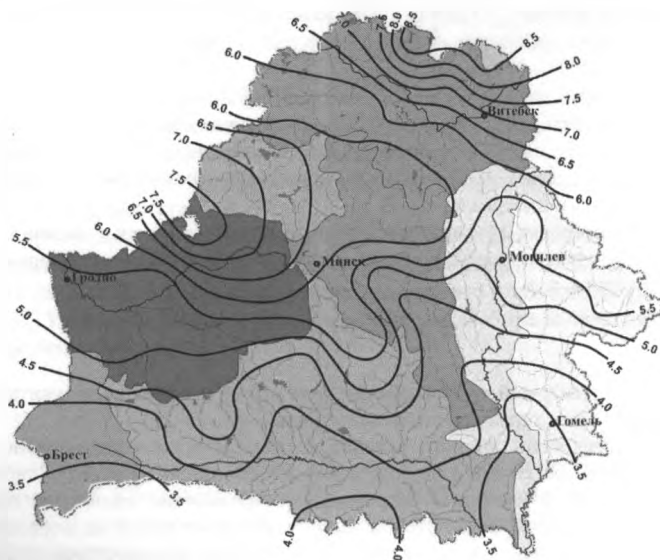


Рисунок 1 – Карта среднего годового стока рек Беларуси за период 1961–2015 гг., л/(с·км²) [5]

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 CCLM с использованием выход-

ных данных глобальной климатической модели ЕСНАМ5. 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) [6]:

I вариант A1B (relatively high-emissions scenario) – более «жесткий» сценарий, относительно высокие выбросы парниковых газов за счет 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;

II вариант B1 (low-emissions scenario) – более «мягкий» сценарий, невысокие выбросы парниковых газов, весьма вероятно внезапная глобализация, число жителей изменяется подобно тому, как планируется в сценарии A1, но происходит весьма быстрое превращение экономической системы в информационную, а также общество становится менее потребительским, интенсивное внедрение новых чистых технологий.

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.

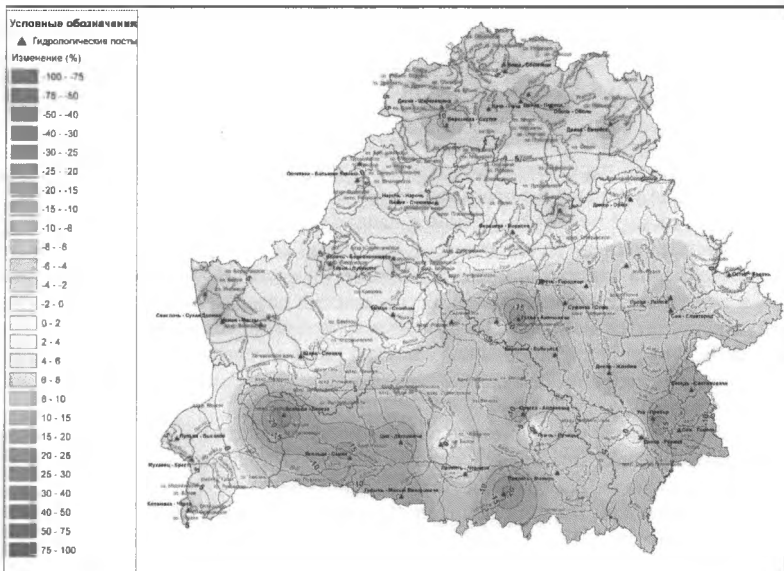


Рисунок 2 – Прогноз изменения годового стока на период до 2035 г. [7]

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-го 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 г. 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.

Проблема адаптации водных ресурсов к изменению климата является новой и неопределенной проблемой. В то же время вследствие изменения климата могут усугубиться некоторые современные проблемы водохозяйственного комплекса Беларуси, а также появиться новые, нехарактерные для нынешних условий. Поэтому разработка адаптационных мер и их реализация являются неотложной задачей.

В связи с тем что адаптация водных ресурсов к изменению климата требует индивидуальных подходов в каждом конкретном случае, рассмотрим наиболее общие возможные меры по адаптации (таблица).

Заключение. Выполнена оценка изменения речного стока Беларуси за период с 1961-го по 2015 г. по основным речным бассейнам страны. 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.

Таблица – Возможные меры по адаптации водных ресурсов Беларуси к изменению климата

Повышенная опасность наводнений	Повышенная опасность засухи	Ухудшение качества воды
Предотвращение/повышение устойчивости		
Ограничение городской застройки в зонах, подверженных риску наводнения. Меры по поддержанию безопасности дамб, лесонасаждение и другие структурные мероприятия по предотвращению затопления территорий. Изменения в режиме эксплуатации водохранилищ и озер. Управление землепользованием. Обустройство мест аккумуляции стока. Расширение возможностей дренирования территорий. Конструкционные (структурные) меры (временные дамбы, строительство устойчивого жилья, изменение транспортной инфраструктуры). Переселение людей из зон, подверженных высокому риску.	Сокращение потребностей в воде. Водосберегающие меры / эффективное использование воды. Совершенствование технологий по утилизации и повторному использованию сточных вод. Водосбережение (системы выдачи разрешений для водопользователей, просвещение и повышение информированности и т. д.). Управление землепользованием. Улучшение технологий и эффективного использования воды. Повышение степени доступности водных ресурсов. Улучшение водного баланса ландшафта. Совершенствование стратегии устойчивого использования подземных вод. Строительство новых сетей водоснабжения и водопользования. Выявление и оценка альтернативных стратегических водных ресурсов (поверхностных и подземных). Выявление и оценка альтернативных технологических решений (повторное, использование сточных вод и т. д.). Увеличение емкостей хранилищ (для поверхностных и подземных вод) как естественных, так и искусственных. Создание дополнительной инфраструктуры водоснабжения. Экономические инструменты, такие как установка счетчиков, ценовая политика. Механизм перераспределения водных ресурсов для наиболее приоритетных нужд. Снижение утечек в распределительной сети. Сбор и хранение дождевых вод. Снижение водопотребления в мелиорации за счет изменения севооборотов и методов орошения.	Предотвращение сброса и очистки мест сброса отходов в зонах, подверженных риску наводнения. Улучшение очистки сточных вод. Регулирование стока сточных вод. Улучшение системы забора воды для питьевых нужд. Безопасность и эффективность систем сточных вод. Изоляция мест сброса отходов в зонах, подверженных риску наводнения. Временные устройства для хранения сточных вод. Защита водосбора (расширение охраняемых территорий и т. д.).

Продолжение таблицы

Подготовительные меры		
Предупреждение о наводнениях (включая раннее предупреждение). Планирование на случай чрезвычайных ситуаций (включая эвакуацию). Риск внезапных наводнений (меры, принимаемые в порядке предотвращения, поскольку время для предупреждения слишком коротко для принятия нужных мер). Картирование угроз и риска наводнений.	Разработка плана борьбы с засухой. Изменение правил эксплуатации водохранилищ. Определение приоритетности видов водопользования. Ограничение забора воды для отдельных видов пользования. Планирование на случай чрезвычайных ситуаций. Повышение информированности. Оповещение населения об опасности. Подготовка и тренировки.	Ограничения на сброс сточных вод и реализация аварийных систем хранения воды. Регулярный мониторинг за качеством питьевой воды.
Ответные меры		
Медицинская помощь в чрезвычайных обстоятельствах. Распределение безопасной питьевой воды. Обеспечение санитарной безопасности. Определение приоритетности и типа распределения (вода в бутылках, пластиковые пакеты и т. д.).		
Восстановительные меры		
Мероприятия по очистке. Варианты восстановления, например реконструкция инфраструктуры. Аспекты управления, такие как законодательство, в частности в области страхования, четкая политика восстановления, надлежащие институциональные механизмы, планы и потенциал, сбор и распространение информации. Специально разработанные проекты: новая инфраструктура, лучшие школы, госпитали. Все виды финансовой и экономической поддержки. Специальное налогообложение для инвестиций, компаний, населения. Страхование. Оценка.		

Даны прогнозные оценки годового стока основных рек Беларуси на период до 2035 г. 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.

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.

Прогнозируемое потепление климата и неизбежный рост хозяйственного освоения речных долин в связи с ростом населения, несомненно, приведут к увеличению повторяемости и разрушительной силы наводнений. Поэтому необходимо усилить научно-исследовательские, организационные и практические работы, направленные на уменьшение ущербов от наводнений. Предотвращение стихийных бедствий в 50–70 раз уменьшит затраты на ликвидацию последствий наводнений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изменения климата Беларуси и их последствия / В. Ф. Логинов [и др.] ; Ин-т проблем использования природ. ресурсов и экологии НАН Беларуси ; под общ. ред. В. Ф. Логинова. – Минск : 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 // Вод. ресурсы. – 1995. – Т. 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 // Вод. хоз-во России: проблемы, технологии, управление. – 2007. – № 1. – С. 50–62.
5. Волчек, А. А. Водные ресурсы Республики Беларусь на современном этапе / А. А. Волчек, С. И. Парфомук // Вестн. БГТУ. Водохоз. строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2011. – № 2 (68). – С. 2–5.
6. Изменение климата, 2007. Вклад рабочих групп I, II и III в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата : обобщ. докл. / Р. К. Пачаури [и др.]. – Женева : МГЭИК, 2007. – 104 с.
7. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата / А. А. Волчек [и др.] ; под общ. ред. А. А. Волчека, В. Н. Корнеева. – Брест : Альтернатива, 2017. – 228 с.

УДК 556.047+556.332.52

А. Л. ШЕВЧЕНКО¹, В. А. НЕСТЕРОВСКИЙ¹, В. И. ОСАДЧИЙ²

¹Украина, Киев, КНУ имени Т. Шевченко

²Украина, Киев, Украинский гидрометеорологический институт
ГСЧС Украины и НАН Украины

E-mail: shevch62@gmail.com; v.nesterovski@ukr.net; osad@uhmi.org.ua

РЕЖИМ, ВОДООБМЕН И РЕСУРСЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПОЛЕСЬЯ И ЛЕСОСТЕПИ В КОНТЕКСТЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

Начало глобального потепления (1981–1990 гг.) связывают с началом стойкой тенденции к повышению температуры после установления ее среднегодовых значений выше зональной климатической нормы с нарушением законо-