

## ГИС–МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДНОГО СТОКА РЕК БЕЛАРУСИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

*Статья посвящена проблеме влияния климатических изменений на поверхностные водные ресурсы Беларуси. Приведены результаты исследования изменения водного стока малых и больших рек страны в условиях потепления климата в последнюю четверть века. Выполнен сравнительный анализ параметров годового объема стока рек за два периода (до потепления и в период потепления) в экстремальные по водности годы. Для этого предварительно посредством аналитических методов установлены годы с минимальной и максимальной водностью за весь период инструментальных наблюдений. Впервые выполнено ГИС-моделирование динамики водного стока рек в условиях изменения климата для территории Беларуси и выявлены ее региональные различия в разрезе маловодных и многоводных лет.*

Глобальные процессы изменения климата обуславливают необходимость оценки их влияния на формирование водных ресурсов Беларуси. Изучение региональных особенностей колебания климата и условий формирования речного стока позволили выявить общие тенденции изменения годового и внутригодового распределения водности рек страны в средние по водности годы [1-3]. Однако с практической точки зрения наибольший интерес представляет изучение изменения водного стока в годы с экстремальной водностью, необходимые при прогнозировании наводнений, расчетах минимального стока и пр. Задача оценки состояния природных объектов в изменяемых условиях среды в полной мере может быть решена путем использования геоинформационных технологий. Главенствующую роль здесь играет геопространственный анализ

территории, с помощью которого реализуется комплексный подход к решению вопросов мониторинга речных систем. Как показывает практика, созданные в результате гидрологического ГИС-моделирования гео-данные успешно применяются для решения задач научного и прикладного характера [4]. Этим продиктована актуальность выполненного исследования, цель которого заключалась в выявлении пространственно-временных закономерностей изменения водного стока рек Беларуси в многоводные и маловодные годы в условиях изменения климата посредством ГИС-технологий.

### Методика исследования

В основе исследования лежат обработанные авторами данные инструментальных наблюдений Департамента по гидрометеорологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды за многолетний период с момента начала ведения регулярных наблюдений по настоящее время (1882–2010 гг.). Объектом исследования выступает годовой объем водного стока в 25 створах в бассейнах рек Западной Двины, Немана, Западного Буга, Днепра Западной Двины и Припяти, с продолжительными рядами гидрологических наблюдений и обеспеченных синхронной метеорологической информацией. В целях репрезентативности выбраны следующие посты: р. Западная Двина – Витебск, р. Западная Двина – Полоцк, р. Неман – Столбцы, р. Неман – Белица, р. Неман – Гродно, р. Днепр – Орша, р. Днепр – Могилев, р. Днепр – Жлобин, р. Березина – Борисов, р. Березина – Бобруйск, р. Сож – Гомель, р. Припять – Мозырь, р. Дисна – Шарковщина, р. Полота – Янково, р. Щара – Слоним, р. Свислочь – Сухая Долина, р. Нарочь – Нарочь, р. Лесная – Каменец, р. Пульва – Высокое, р. Беседь – Светиловичи, р. Бобр – Куты, р. Ясельда – Сенин, р. Птичь – Дараганово, р. Птичь – Лучицы, р. Оресса – Андреевка. Перечисленные выше створы относятся к шести гидрологическим районам – Западно-Двинскому, Неманскому, Верхнеднепровскому, Вилейскому, Центральнорезинскому и Припятскому. Пропущенные наблюдения в рядах восстановлены по методу аналогов. По данным среднегодовых расходов воды рассчитаны показатели годового объема стока. В целях исследования привлекались данные по среднегодовым значениям температур и атмосферных осадков на 20 метеорологических станциях (МС) за период 1882–2010 гг.

Основой приемов расчета стока при наличии репрезентативных рядов наблюдений являются кривые обеспеченности, параметры которой были рассчитаны с использованием программного комплекса “Аналитическая кривая обеспеченности”. Кривые обеспеченности построены с использованием метода моментов. На основе анализа кривых с рассчитанной процентной обеспеченностью определены годы с максимальной и минимальной водностью.

Анализ гидрологических и метеорологических параметров выполнен в разрезе экстремальных по водности лет (многоводных и маловодных)

для двух периодов: до потепления климата (с начала ведения регулярных гидрометеорологических наблюдений в 1882 г. по 1988 г.) и в период потепления (с 1989 по 2010 гг.) [5].

С целью оценки пространственной неоднородности изменения водного стока по всей территории Беларуси и интерпретации полученных результатов исследования было выполнено ГИС-моделирование на основе многолетних данных метеорологических и гидрологических створов. Для достижения поставленной цели использовалось программное обеспечение ArcMap (ArcGIS © ESRI). Триальная версия программы позволяет использовать все функции программного обеспечения в течение 60 дней.

Для формирования «подложки» картосхем использовались данные открытого доступа из сети Интернет. По имеющимся координатам гидрологических постов (система координат World Geodetic System 1984 (WGS-84)), были получены точки створов в формате shape. Информация по показателям максимального и минимального годового стока была связана с shape-файлами гидрологических постов.

Для интерполяции данных по стоку использовался метод обратновзвешенных расстояний – IDW (ОВР). Выходное значение для ячейки, вычисляемое с использованием метода ОВР, ограничено диапазоном применяемых для интерполяции значений. Инструмент ОВР использует метод интерполяции, оценивающий значения ячеек посредством усреднения значений образцов точек данных рядом с каждой обрабатываемой ячейкой. Чем ближе оценивается точка к центру ячейки, тем больше влияния, т. е. веса, она имеет в процессе усреднения [6]. Выходное значение для ячейки ограничено диапазоном применяемых для интерполяции значений. В качестве входных точечных объектов использовались данные по максимальному и минимальному объему стока, представленные в виде атрибутивной таблицы shape-файла. Количество повторов интерполяции соответствует коэффициенту 3. Входные линейные объекты барьеров (линейные объекты, которые могут использоваться в качестве разрыва или границы) для построения картосхем не использовались. Выходной растр представляет интерполированное изображение изменения максимального и минимального объема стока в период потепления для исследуемых створов. Для оформления картосхем использовались цветовые палитры ArcGIS ArcMap.

В результате выполненного ГИС-моделирования впервые для территории Беларуси получены картосхемы изменения водного стока рек в маловодные и многоводные годы, что позволило оценить его трансформацию в масштабах страны.

### Результаты и их обсуждение

В период потепления на большинстве МС зафиксирован рост минимальных значений среднегодового количества атмосферных осадков в среднем на 10%. Наибольшее изменение минимального количества осадков зафиксировано в бассейне р. Припять на МС Мозырь и Пинск, где

рост составил 40 и 51%, и в бассейне р. Западная Двина – на МС Витебск и Полоцк (35 и 40% соответственно).

Общезвестно, атмосферные осадки являются главным фактором формирования речного стока. Выполненный авторами анализ установил значимые коэффициенты корреляции годового стока и годовых сумм осадков (от  $r=0,61$  для рек бассейна Днепр до  $r=0,68$  для бассейна р. Западная Двина). При этом в большинстве случаев значимые коэффициенты зафиксированы для створов крупных рек. В бассейне р. Припять, где естественное формирование водного стока сильно нарушено осушительной мелиорацией, корреляционная зависимость водного стока и сумм осадков прослеживается слабее.

На территории республики фиксируемое с 1989 г. изменение климата, так называемый период потепления, отразился на гидрологическом режиме рек. Повышение температуры воздуха, особенно в зимний период, обусловленное частыми оттепелями, повлекло изменение условий увлажненности территории и формирования запасов воды в снеге к началу весеннего половодья [1-3].

Как показали результаты нашего исследования, в маловодные годы период потепления характеризуется повсеместным увеличением годового объема стока рек, особенно интенсивно в северных и южных районах республики. При этом изменения в Припятском гидрологическом районе значительнее, чем в Западно-Двинском, что соответствует масштабам изменения атмосферных осадков в соответствующих створах (рис. 1).

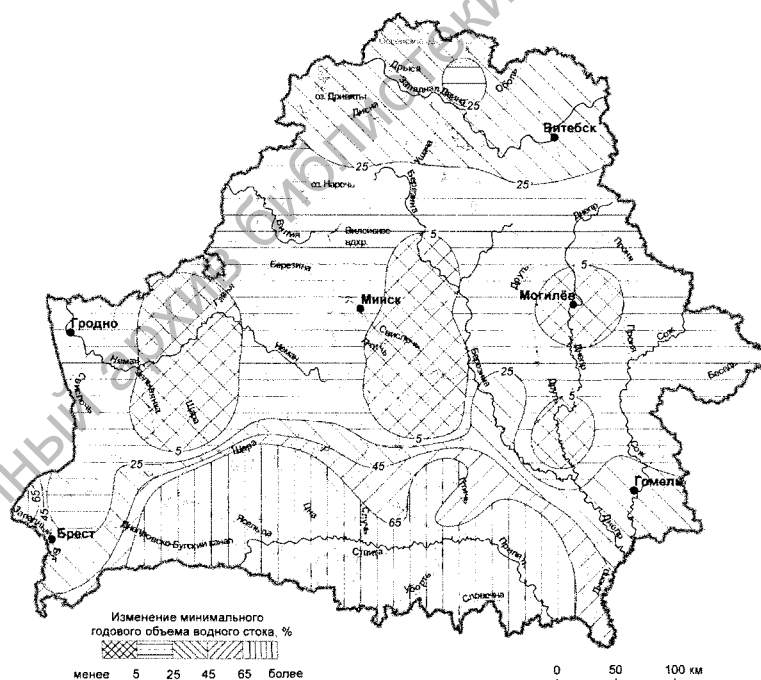


Рис. 1. Динамика водного стока рек Беларуси в маловодные годы в условиях изменения климата

Следует отметить, что увеличение минимального объема водного стока в створах р. Припять – Мозырь и р. Ясельда – Сеннин составило более 100%, в то время как в створах р. Птичь – Лучицы и р. Оресса – Андреевка – только 54% и 78% соответственно. Только в бассейне р. Птичь наблюдалось снижение минимального объема стока на 39%

В бассейне р. Западная Двина показатели годового объема водного стока в маловодные годы выросли в среднем на 40% по сравнению с предшествующим периодом. Менее существенный рост зафиксирован на малых реках: в створах р. Полота – Янково он составил 28%, р. Дисна – Шарковщина – 16%.

В центральной возвышенной части Беларуси возрастание водного стока рек в условиях потепления оказалось не столь выраженным. В большинстве створов бассейна р. Днепр его увеличение менее значительно – в среднем до 15%. Лишь в нижнем течении рек Сож и Березина зафиксировано возрастание минимального стока на 41% и 36% соответственно.

В бассейнах рек Немана и Западного Буга динамика годового объема стока также была в целом положительной, изменяясь от 11% в створах на р. Неман до 73% – на р. Пульва. Только в бассейне р. Шары зафиксировано снижение показателей на 15%.

В отличие от маловодных лет, тенденция изменения водности рек Беларуси *в многоводные годы* в условиях потепления климата носила противоположный характер, проявляясь в сокращении показателей годового объема водного стока (рис. 2).

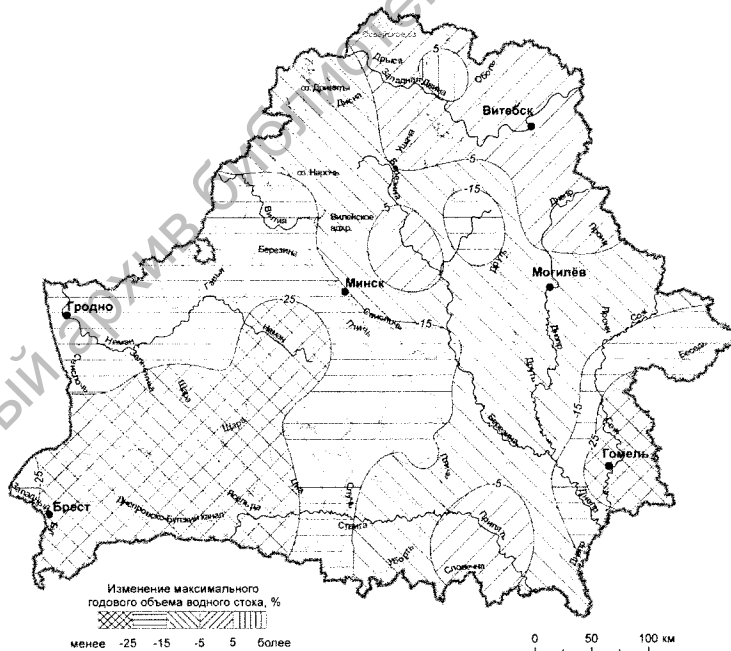


Рис. 2. Динамика водного стока рек Беларуси в многоводные годы в условиях изменения климата

Наиболее интенсивным снижением объемов речного стока в годы повышенной водности отличились крупные и средние водотоки Неманского, Припятского и Центральнорезинского гидрологических районов. Необходимо подчеркнуть, что сокращение максимального стока по сравнению с многолетними данными в ряде створов превысило 25% (верховья Немана, Припяти, среднее течение Сожа). Лишь на нескольких постах на крупных реках (р. Припять – Мозырь, р. Днепр – Орша) эта величина не превышает 5%, находясь в пределах допустимой погрешности расчетов.

Показатели максимального стока на малых реках также демонстрируют “отрицательную” динамику. Так, в бассейнах Немана и Западного Буга годовой объем водного стока в многоводные годы на большинстве створов снизился на 16–30%. Снижение показателей максимального стока зафиксировано и на притоках Днепра и Припяти: на реках Бобр, Беседь, Ясельда – на 20–30%, реках Птичь и Оресса – на 11–24%.

### Заключение

Таким образом, апробированная методика проведения гидрологического ГИС-моделирования в среде ArcGIS, позволила интерполировать результаты исследования изменения водного стока рек, основанные на данных створов с продолжительными рядами наблюдений, и оценить пространственную неоднородность его распределения по всей территории Беларуси.

Период потепления, фиксируемый с 1989 г. и сопровождающийся увеличением минимальной нормы осадков примерно на 10%, оказал существенное влияние на гидрологический режим рек. В маловодные годы наблюдалось повсеместное значительное увеличение годового объема водного стока рек по сравнению с периодом, предшествующим потеплению, наиболее интенсивно – в бассейне рек Припяти и Западной Двины. В многоводные годы период потепления на большей части территории сопровождался сокращением годового объема речного стока, интенсивнее – на крупных и средних водотоках Неманского, Припятского и Центральнорезинского гидрологических районов и несущественно – Западно-Двинского. Таким образом, изменение климата в последнюю четверть века привело к нивелированию объемов водного стока рек на территории Беларуси в экстремальные по водности годы.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гидрологический мониторинг Республики Беларусь (Гидрологические особенности рек Беларуси) / М.А. Асадчая [и др.] ; под общ. ред. А.И. Полищука, Г.С. Чекана. – Минск, 2009. – 286 с.
2. Изменение климата Беларуси и их последствия / В.Ф. Логинов [и др.] ; под общ. ред. В.Ф. Логинова. – Минск, 2003. – 330 с.
3. *Полищук, А.И.* Изменение гидрологического режима рек Беларуси в период потепления 1988–2006 гг. / А.И. Полищук, Л.Б. Трофимова,

- Г.С. Чекан // Материалы Межд. водного форума, 2–3 октября 2008 г. – Минск, 2008. – С. 233.
4. Использование ГИС-моделирования для оценки гидрологических процессов / Д.М. Курлович [и др.] // Вестник Белорус. ун-та, Сер. 2, Химия, биология, география. – 2013. – № 2. – С. 75–80.
  5. **Асадчая, М.А.** Водный сток рек Беларуси в условиях потепления климата: минимальный и максимальный сток, внутригодовое распределение / М.А. Асадчая, Е.Г. Кольмакова. – LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 108 с.
  6. Hydrology toolset ArcGIS 10.1 [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://resources.arcgis.com>. – Дата доступа : 25.04.2013.

Поступила в редакцию 22.01.2014 г.