

сокая среднегодовая температура воздуха по всем метеостанциям Полесья (средняя 9,3°C), которая изменялась от 10,1°C на метеостанции Брест до 8,8°C на метеостанции Полесская. В 2015 г. на метеостанциях Брест и Пинск среднегодовая температура воздуха превысила климатическую норму на 2,8°C.

Изменение количества осадков на территории Белорусского Полесья за рассматриваемый период отличается большей пространственно-временной изменчивостью по сравнению с температурой. Наблюдаются разнонаправленные тенденции. На некоторых метеостанциях (Мозырь, Брагин, Житковичи) наблюдается рост годовых сумм осадков, на других – уменьшение (Брест, Полесская), на некоторых заметных тенденций к росту или снижению не выявлено (Василевичи, Гомель, Пинск).

В целом происходящие климатические изменения привели к значительной перестройке системы влагооборота на водосборах. Уменьшение паводочного стока в современный период потепления климата, в то время как количество осадков не уменьшилось, а наоборот, несколько увеличилось, вызвано прежде всего изменением условий потерь воды. Влияние потепления на паводочный сток рек проявляется в том, что с ростом температур воздуха увеличиваются потери воды на суммарное испарение и растет дефицит почвенной влаги. Сказывается также уменьшение величины весенних половодий и смещение их на более ранние сроки, что приводит к иссушению почво-грунтов и росту их впитывающей способности, в результате чего растут потери воды на впитывание. Особенно это касается паводков, которые формировались в начале лета.

Таким образом, изменение величины паводочного стока происходит вследствие изменения условий его формирования, вызванных как природными, так и антропогенными факторами. Современные климатические изменения привели к уменьшению величины дождевого паводочного стока.

УДК 556.5

С.А. Журавлев^{1,2}, И.С. Данилович³, Л.С. Курочкина¹, Е.Г. Квач⁴

¹ – Государственный гидрологический институт, г. Санкт-Петербург, Россия

² – Санкт-Петербургский государственный университет, Россия

³ – Институт природопользования НАН РБ, г. Минск, Беларусь

⁴ – Белгидромет, г. Минск, Беларусь

МОДЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ОЖИДАЕМЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК СТОКА Р. ЗАПАДНОЙ ДВИНЫ

Введение. В настоящее время повсеместно на территории Восточно-Европейской равнины фиксируются изменения гидрологического режима. Направленные изменения речного стока были отмечены ранее для Волги, Дона, Северной Двины, рек бассейна Невы. Несмотря на значительное количество работ, посвященных оценке современных изменений характеристик речного стока, сохраняется потребность в подробных региональных исследованиях, нацеленных на выявление причин этих изменений и их прогнозов на долгосрочную перспективу. В данной работе представлены результаты модельных оценок ожидаемых изменений стока реки Западной Двины в XXI веке.

Материалы и методы. Оценка возможных изменений речного стока была проведена для створа р. Западная Двина – г. Витебск ($F=27300 \text{ км}^2$). В работе использовалась модель «Гидрограф», разработанная Ю.Б. Виноградовым в Государственном гидрологическом институте, и в настоящее время развиваемая его последователями [1]. В качестве исходных данных в модель поступает стандартная сетевая метеорологическая информация (температура воздуха, дефицит влажности воздуха, сумма осадков). Выходной продукцией модели является непрерывный гидрограф стока в назначенном створе реки. Пространственная структура водосбора описывается наборами почвенных и ландшафтных параметров, обобщаемых в пределах стокоформирующих комплексов (СФК). В модели может задаваться до

15 ярусов подземного питания, доля участия каждого из них в питании реки оценивается обратным путем.

В модели р. Западной Двины было выделено 4 типа СФК: пашни (34%), луга (17%), хвойные (27%) и лиственные леса (22%) на дерново-подзолистых суглинистых почвах. Информация о почвенно-растительном покрове была получена из Национального атласа Республики Беларусь, справочника «Агрогидрологические свойства почв северо-запада СССР» и ландшафтной карте СССР.

В качестве исходной метеорологической информации использовались ряды суточных величин температуры и воздуха массива E-OBS [2] по 15 узлам сетки размера $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$, расположенным в пределах исследуемого водосбора. Дефицит влажности воздуха определялся как функция от температуры отдельно для дней с осадками и без них. Параметры уравнений определялись на основе срочных данных по метеостанции Витебск с 2005 по 2016 годы. Контрольная гидрологическая информация была представлена рядом суточных расходов воды в створе Западная Двина – г. Витебск за период 2000–2013 гг. Параметры, оцениваемые обратным путем, определялись для периода 2000–2006 гг. Помимо этого, моделирование и байес-коррекция по годовому стоку были выполнены за базовый климатический период 1970–2000 гг.

Модельные оценки ожидаемых изменений стока проводились методом дельт [3] для сезонных величин температуры воздуха и осадков, рассчитанных по ансамблю глобальных и региональных климатических моделей, предоставленных консорциумом EURO-CORDEX. Для оценки будущих изменений температуры воздуха и осадков оказалось возможным использование расчетов по 40 комбинациям глобальных и региональных климатических моделей с пространственным разрешением 50 км для различных сценариев концентрации парниковых газов семейства RCP (Representative Concentration Pathways) на конец 21 столетия (согласно отчету Intergovernmental Panel Climate Change). Для выполнения настоящих расчетов были приняты сценарии RCP8.5 (что соответствует концентрации 1370 мд), RCP4.5 (650 мд) и RCP2.6 (490 мд).

Результаты и обсуждение. Оценка качества моделирования проводилась по критериям NSE и BIAS. Результаты моделирования, согласно таблице 1, могут быть оценены как хорошие согласно критериям, предложенным в работе Mogiasi и соавторов [3]. Высокое качество моделирования объясняется как относительной однородностью условий формирования стока, так и сравнительно плотной сетью метеорологических наблюдений.

Таблица 1 – Результаты моделирования за период 2000–2013 год

Период	NS	BIAS, %
2000–2006	0,76	7,9
2007–2013	0,84	1,8

Примеры сопоставления рассчитанных и наблюдаемых гидрографов стока для лет с различным качеством расчетов представлены на рисунках 1 и 2.

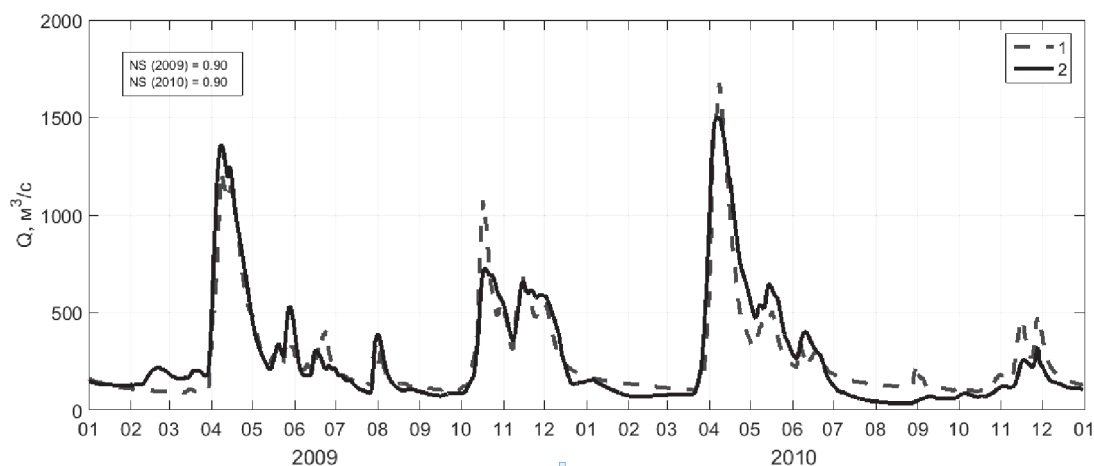


Рисунок 1 – Результаты моделирования для двух последовательных лет с наилучшей сходимостью (2009–2010)

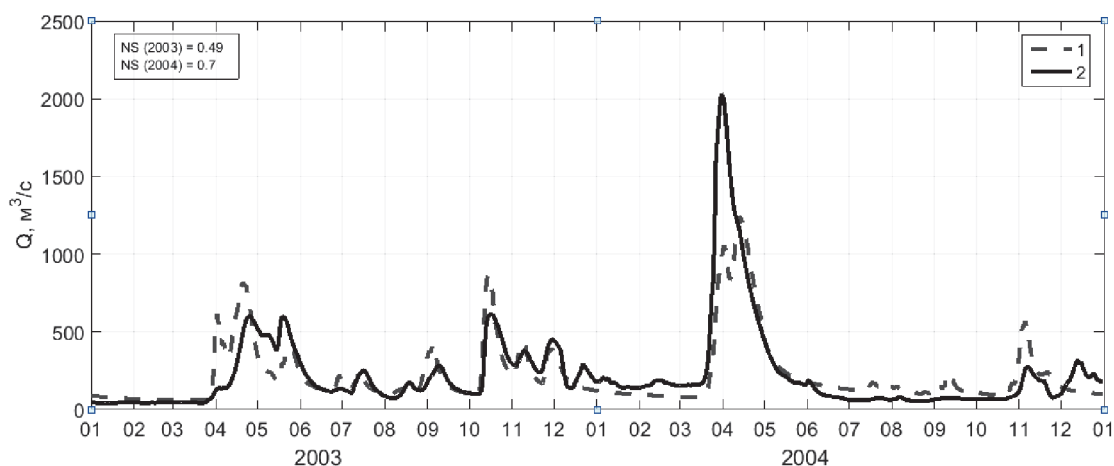


Рисунок 2 – Результаты моделирования для двух последовательных лет с наилучшей сходимостью (2003–2004)

Расчеты ожидаемых траекторий речного стока были проведены по данным ансамбля климатических моделей для каждого сценария радиационного воздействия при трех условиях – медианных изменений и изменениях на границах доверительных интервалов (таблица 2).

Таблица 2 – Ожидаемые изменения сезонных величин температуры воздуха и осадков [5]

Сценарий\сезон		Зима		Весна		Лето		Осень	
		$\Delta T, ^\circ\text{C}$	$\Delta P, \text{мм}$	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	$\Delta P, \text{мм}$	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	$\Delta P, \text{мм}$	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	$\Delta P, \text{мм}$
RCP2.6	мин	1,5	9	1,2	4	0,8	-7	0,7	-3
	медиана	1,6	12	1,6	10	1,1	-2	1,0	6
	макс	2,1	19	1,9	10	1,5	2	1,5	6
RCP4.5	мин	1,5	-6	1,5	4	1,1	-10	1,3	-5
	медиана	3,0	15	2,6	14	1,8	0,5	2,5	15
	макс	5,7	25	3,6	26	3,1	20	3	5,5
RCP8.5	мин	3,9	18	3,1	8	2,3	-12	2,7	2
	медиана	4,9	26	3,7	23	3,6	2	4,1	14
	макс	8,0	39	5,0	48	5,6	42	5	38

Аномалии стока рассчитывались как отношение изменений характеристик стока (среднего, максимального и минимального годового), рассчитанных за период конца XXI века (2070–2100) к тем же характеристикам за базовый климатический период (1970–2100).

Таблица 3 – Ожидаемые изменения характеристик стока Западной Двины (у г. Витебск) за период 2070–2100 гг. по отношению к базовому периоду (1970–2000 гг.)

Период, сценарий/расход воды и его изменение	$\bar{Q}_{\text{макс}}$, $\text{м}^3/\text{с}$	Δ , %	\bar{Q} , $\text{м}^3/\text{с}$	Δ , %	$\bar{Q}_{\text{мин}}$, $\text{м}^3/\text{с}$	Δ , %
1970–2000, данные наблюдений	1250	–	234	–	44.8	–
2070–2100, RCP 2.6	954	-24	240	3	48.0	7
	962	-21	238	2	47.6	6
	965	-23	224	-4	45.1	1
2070–2100, RCP 4.5	843	-33	250	7	51.2	14
	860	-31	230	-2	46.7	4
	868	-31	203	-13	41.3	-8
2070–2100, RCP 8.5	863	-31	274	17	54.9	23
	816	-35	230	-2	46.5	4
	777	-38	211	-10	43.0	-4

Анализ модельных оценок позволяет сделать вывод о том, что элементы весеннего половодья являются наиболее чувствительными к изменению климатических параметров.

Максимальные расходы воды уменьшаются в пределах –20...–40% для всех сценариев радиационного воздействия. Годовой и минимальный сток имеют гораздо меньшую чувствительность.

Оценка значимости изменений климатических переменных по отношению к естественным колебаниям гидрологических характеристик проводилась с помощью критерия SNR. Было установлено, что возможные изменения максимальных расходов воды сопоставимы с их изменчивостью ($0.6 < \text{SNR} < 1.0$). Ожидаемые изменения годового и минимального стока значительно меньше внутримодельной изменчивости.

В ряде исследований было показано, что современные климатические изменения сопровождаются изменением продолжительности засушливых периодов, в частности, вследствие изменения частоты появления блокирующих антициклонов. Следует особо отметить, что DC-метод, использованный в данной работе, не предполагает возможности учета изменения временной структуры осадков, что повышает неопределенность в оценках возможных изменений минимального стока.

Список использованных источников

1 Vinogradov, Yu B., O. M. Semenova, and T. A. Vinogradova. "An approach to the scaling problem in hydrological modelling: the deterministic modelling hydrological system." *Hydrological processes* 25.7 (2011): 1055–1073.

2 Haylock, M.R., N. Hofstra, A.M.G. Klein Tank, E.J. Klok, P.D. Jones and M. New. 2008: A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. *J. Geophys. Res (Atmospheres)*, **113**, D20119, doi:10.1029/2008JD10201

3 Gleick, Peter H. "Methods for evaluating the regional hydrologic impacts of global climatic changes." *Journal of hydrology* 88.1-2 (1986): 97–116.

4 Moriasi, Daniel N., et al. "Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria." *Transactions of the ASABE* 58.6 (2015): 1763–1785.

5 Партасенок И.С., Гайер Б. Исследования возможных сценариев изменений климата Беларуси на базе ансамблевого подхода. Труды гидрометеорологического научно-исследовательского центра российской федерации, № 358. М.: Гидромет. науч.-исслед. центр РФ. С. 99–111.

Работа выполнена при поддержке гранта РГО-РФФИ 17-05-41118 РГО_a.

Коллектив авторов признателен проекту EU-FP6 ENSEMBLES (<http://ensembles.eu.metoffice.com>) за разработанный ими архив данных E-OBS v14.0, а также провайдеру данных ECA&D (<http://www.ecad.eu>)

УДК 502.3

В.В. Ершов, гидрогеолог 1 категории¹; М.М. Черепанский, д-р г.м. наук, ст. науч. сотр.²

¹ФГБУ Гидроспецгеология, ²Российский Государственный Геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЗОНЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ

В развитии народного хозяйства страны северные районы играют все большую роль. Печорский артезианский бассейн является одним из основных нефтегазоносных регионов Крайнего Севера. В Печоро-Уральском регионе открыто множество нефтяных и газовых месторождений, которые интенсивно осваиваются в последнее время. В связи с этим возникает необходимость оценки прогнозных ресурсов подземных вод в зонах многолетнемерзлых пород.

Печорский артезианский бассейн (ПАБ) входит в состав Тимано-Печорского сложного артезианского бассейна и, в свою очередь, состоит из бассейнов третьего порядка: Ижма-Печорского, Большеземельского и Печоро-Кожвинского (рисунок 1) [1]. Геоэкологические