

УДК [556.16:551.583](282.247.13)

МНОГОЛЕТНИЕ И ВНУТРИГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА ВОДЫ С РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ БАССЕЙНА РЕКИ ЗАПАДНАЯ ДВИНА КАК ОТКЛИК НА КОЛЕБАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Д.А. Домнин

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, dimanisha@rambler.ru

Представлены результаты анализа межгодовых и сезонных изменений стока воды с территории российской части бассейна реки Западная Двина как отклика на колебания температуры воздуха и количества осадков за период 1966—2015 гг. Показано пространственно-временное изменение слоя стока. Установлен положительный тренд стока воды на протяжении рассматриваемого времени, однако получено, что его изменение нелинейно относительно тренда количества выпавших осадков и всегда его превышает.

Ключевые слова: трансграничный речной бассейн, моделирование, речной сток, изменения климата, Балтийское море, Западная Двина, Даугава.

LONG-TERM AND WITHIN-YEAR VARIABILITY OF RUNOFF FROM THE RUSSIAN PART OF THE CATCHMENT AREA OF THE WESTERN DVINA RIVER, AS A RESPONSE TO FLUCTUATIONS IN CLIMATIC PARAMETERS

D.A. Domnin

Shirshov Institute of Oceanology, RAS

The results of the analysis of inter annual and seasonal variability in runoff from the area from the Russian part of the Western Dvina River catchment, as response to temperature and precipitation for the period 1966—2015 are presented. Their spatial-temporal variation is shown. Runoff, depending on the amount of precipitation and air temperature, also has a positive trend, but its change is non-linear with respect to changes in precipitation, but always exceeds them.

Keywords: transboundary river catchment, numerical modeling, runoff, climate changes, Baltic Sea, Western Dvina, Daugava.

Введение

Бассейн реки Западная Двина принадлежит к бассейну Балтийского моря, располагается на территории нескольких европейских государств и является трансграничным. На территории Российской Федерации находятся два сегмента водосбора всей реки (рис. 1) — западный площадью 3,3 тыс. км² и восточный площадью 24,7 тыс. км² — всего 28 тыс. км² (32 % всей площади), речной сток с которых объединяется на территории Беларуси.



Рис. 1. Бассейн реки Западной Двина.

1 — бассейн Западной Двина, 2 — государственные границы, 3 — населенные пункты.

Для российских частей водосбора анализировалась изменчивость основных элементов влагооборота [7, 8], но вопрос влияния климатических изменений [1, 3] на гидрологические процессы не обсуждался.

Целью работы является изучение многолетних и внутригодовых изменений речного стока с российской части бассейна реки Западной Двина как результат отклика на вариации климатических параметров.

Бассейн реки Западной Двина

Река Западная Двина берет свое начало на территории России, течет через Беларусь и Латвию, где она называется Даугава, и впадает в Рижский залив Балтийского моря (рис. 1). Водосбор имеет площадь 87,9 тыс. км² [4]. Наибольшая его доля приходится на Беларусь (39 %), Россию (32 %) и Латвию (27 %), а небольшие части находятся в Литве и Эстонии. Основными притоками Западной Двины на территории России являются реки Велеса, Торопа, Межа, Усвяча, Каспля, Полота. Бассейн хорошо обеспечен снеговым и дождевым питанием [6].

Исходные материалы и методы исследований

Для целей моделирования российская часть водосбора реки Западной Двина разделена на сеть из 36 взаимосвязанных между собой суббассейнов, собран

набор фактических метеорологических и гидрологических данных, подобраны и откалиброваны инструменты расчетов. Основными критериями разделения водосбора являлись следование водораздельным линиям крупных притоков и государственным границам, наличие на реках гидрологических постов. Из существующей сети гидрометрических постов реки отобраны те, для которых длина непрерывных рядов данных о ежедневном расходе воды составляет не менее 10 лет (Велиж, Козлово, Демидов, Пользино, Янково).

Анализ климатических изменений и настройка модели основываются на метеорологических данных Мирового центра данных [6] — значениях температуры воздуха и количества осадков за период с 1 января 1966 г. по 31 декабря 2015 г.

В расчетах гидрологических характеристик применен инструмент численно-го моделирования [5, 10]. Для бассейна реки Западная Двина использована одномерная модель НУРЕ (разработчик Шведский метеогидрологический институт, SMHI), позволяющая вычислить временной ход величины стока с территории заданных суббассейнов в замыкающих их створах с учетом характеристик подстилающей поверхности и климатических условий [9, 11]. Входными данными являются данные о рельефе, землепользовании, типах почвы, временные серии данных о количестве осадков и температуре воздуха [2], для калибровки использованы временные серии расхода воды¹. Гидрологическая сеть в модели НУРЕ задается главной рекой и локальными водотоками. Учитывается задержка в водотоке, определяемая длиной водотока и скоростью течения воды. Типичная погрешность при расчетах составляет $\pm 10\%$.

Для настройки модели водосбора собственно реки Западная Двина использовались данные контрольного створа Велиж за период 1981—2010 гг. (табл. 1).

Таблица 1

Значения статистических параметров, характеризующих ежемесячный измеренный и рассчитанный расход воды реки Западная Двина на гидрологическом посту Велиж, за период 1981—2010 гг.

Период	Ряд данных	Расход, м ³ /с			Коэфф. корреляции	Различие
		сред.	макс.	мин.		
1981—2010	Измеренный	165	919	16	0,89	-0,01 %
	Рассчитанный	164	915	8		

Для верификации результатов расчетов использованы данные гидрологического поста Ордынок на реке Меже. Коэффициент корреляции (0,91) подтверждает верность расчетов с небольшим завышением (+9 %) в пределах точности расчетов.

На выходе из модели для каждого суббассейна получены ежемесячные значения слоя стока (мм).

¹ Данные гидрологических ежегодников (1965—2015), подготовленные Государственным гидрологическим институтом.

Результаты и их обсуждение

В пределах бассейна реки Западная Двина среднегодовые значения температуры воздуха колеблются от 5 до 5,8 °С: значения уменьшаются как с юга на север, так и с запада на восток. Количество осадков увеличивается с запада на восток от 655 до 722 мм в год.

Согласно результатам моделирования, слой стока изменяется в диапазоне от 250 до 305 мм в год. Существует закономерность уменьшения этого параметра от верховьев бассейна к устью (рис. 2).

Для анализа временных изменений период разделен на пять частей по 10 лет: I период 1966—1975 гг., II период 1976—1985 гг., III период 1986—1995 гг., IV период 1996—2005 гг., V период 2006—2015 гг.

Для всей территории характерно увеличение стока со временем. Отмечено, что в I и II периодах слой стока меньше среднего, в IV и V периодах равен среднему. Особо выделяется III период, когда количество стекающей с водосбора воды значительно превысило среднее значение (рис. 3).



Рис. 2. Распределение годового слоя стока воды за период 1966—2015 гг. для российской части водосбора реки Западная Двина.

1 — гидрометрические контрольные посты, 2 — изолинии (мм/год) среднегодового стока воды, 3 — точки геометрических центров суббассейнов, 4 — бассейн Западной Двины.

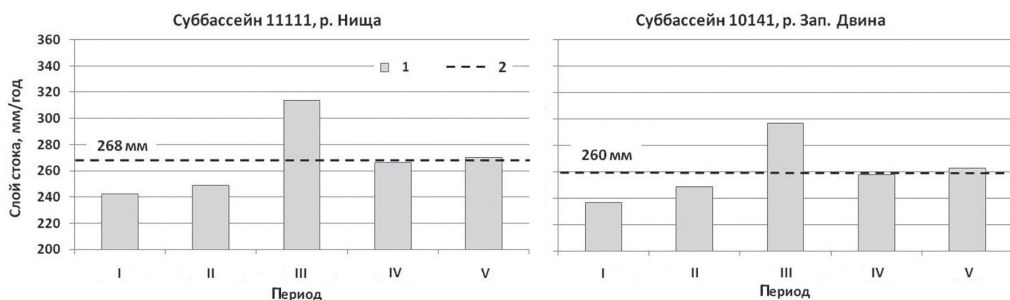


Рис. 3. Изменение среднегодового значения слоя стока для отдельных суббассейнов российской части водосбора реки Западная Двина за период 1966—2015 гг.

1 — среднее за десятилетний период, 2 — среднее за весь период.

Для рассмотренных гидрометеорологических параметров (температуры воздуха, количества осадков и стока воды) на российской части водосбора реки Западная Двина в период 1966—2015 гг. наблюдается увеличение со временем. Для анализа изменений в качестве «базового» выбран I период (1966—1975 гг.), с которым сравнивались данные всех последующих временных периодов (табл. 2).

Таблица 2

Средние за десятилетия значения температуры воздуха (T), количества осадков (P) и рассчитанного слоя стока (R) и их изменения со временем для отдельных суббассейнов реки Западная Двина за период 1966—2015 гг.

Суб-бас-сейн	I период			II период			III период			IV период			V период		
	T , °C	P , мм	R , мм	T , °C	P , мм	R , мм	T , °C	P , мм	R , мм	T , °C	P , мм	R , мм	T , °C	P , мм	R , мм
<i>Средние значения за десятилетия</i>															
11111	5,1	631	242	4,8	624	249	5,5	697	314	5,9	664	266	6,5	689	270
10141	4,9	645	236	4,7	657	249	5,4	719	297	5,8	690	258	6,4	702	262
10511	4,7	659	266	4,5	693	284	5,2	766	359	5,4	737	312	6,1	717	299
10321	4,5	644	252	4,4	679	264	4,9	722	307	5,1	710	283	5,8	714	282
<i>Изменение по отношению к I периоду</i>															
	ΔT , °C	ΔP , %	ΔR , %	ΔT , °C	ΔP , %	ΔR , %	ΔT , °C	ΔP , %	ΔR , %	ΔT , °C	ΔP , %	ΔR , %	ΔT , °C	ΔP , %	ΔR , %
11111	0,0	0,0	0,0	-0,3	-1,1	2,6	0,4	10,6	29,5	0,8	5,3	9,9	1,4	9,2	11,4
10141	0,0	0,0	0,0	-0,2	1,9	5,2	0,5	11,5	25,5	0,9	7,0	9,0	1,5	8,9	11,0
10511	0,0	0,0	0,0	-0,2	5,1	6,9	0,5	16,2	35,0	0,7	11,8	17,4	1,4	8,8	12,6
10321	0,0	0,0	0,0	-0,1	5,4	4,8	0,4	12,0	21,8	0,7	10,2	12,4	1,3	10,9	11,8

Слой стока на протяжении всего рассматриваемого периода времени для отдельных частей водосбора реки Западная Двина имеет положительный тренд. Его значения при увеличении количества осадков также возрастают, но в большей степени (табл. 2). Так, в период с интенсивным поверхностным стоком увеличение

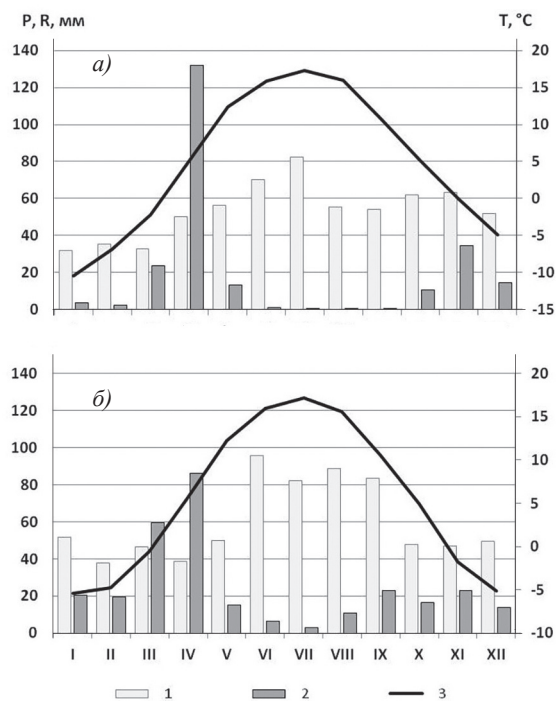


Рис. 4. Внутригодовые изменения количества осадков (1), слоя стока воды (2) и температуры воздуха (3) на территории суббассейна 10141, река Западная Двина, в периоды 1966—1975 гг. (а), 1986—1995 гг. (б).

количества осадков на 11—16 % приводит к увеличению стока на 35 %, что естественно при большом количестве осадков и большом коэффициенте стока. На рис. 4 представлены внутригодовые изменения температуры воздуха, количества осадков и рассчитанного слоя стока воды для суббассейна 10141, река Западная Двина.

Для базового периода наиболее холодным месяцем является январь ($-10,4\text{ }^{\circ}\text{C}$), а самым теплым — июль ($17,3\text{ }^{\circ}\text{C}$), причем температура воздуха плавно изменяется в течение года. Количество осадков минимально в начале года (около 30 мм/мес), возрастает до середины лета (80 мм в июле), а во второй половине года составляет 50 и 60 мм/мес. Начало таяния снега приходится на март, а максимальный сток воды (130 мм/мес) — на апрель, что составляет более половины всего годового стока. Сочетание высоких значений температуры воздуха и низких значений количества осадков в теплый период года приводит к формированию минимального слоя стока в августе и сентябре. В осенний период, когда наблюдаются паводки, слой стока возрастает (см. рис. 4 а).

В III периоде, когда сток воды наиболее интенсивен, этот параметр более равномерно распределен в течение года. Половодье приходится на март — апрель, когда значения слоя стока (60—90 мм) составляют уже менее половины годового стока.

В летние месяцы поверхностный сток воды низкий, а в течение осенне-зимнего периода (сентябрь — февраль) сток равномерный и составляет около 20 мм/мес (рис. 4 б). К такому распределению стока воды приводит соотношение количества осадков и температуры воздуха. Большое количество осадков наблюдается в течение всего года (среднемесячная сумма осадков составляет 90 мм в июне — сентябре и 50 мм/месяц в октябре — мае), что приводит к насыщению грунта влагой, которая не успевает испариться или инфильтрироваться и расходуется на подземный сток в русла рек.

Повышение средней годовой температуры происходит за счет холодного времени года (средняя температура января $-5,4$ °С) без повышения летней температуры (в июле $17,2$ °С). В результате в зимний период наблюдаются оттепели с повышением стока (см. рис. 4 б). Кроме того, в теплую зиму с поверхности снежного покрова влаги испаряется меньше, что также приводит к увеличению поверхностного стока.

В Упериоде наблюдается наибольшее превышение температуры воздуха относительно базового периода в течение всего года. Количество осадков равномерно распределено по сезонам года и составляет 40—90 мм/мес. Превышение среднегодового слоя стока относительно базового периода составляет примерно 11—12 %. Внутригодовые значения слоя стока соответствуют значениям базового периода.

Заключение

Поскольку особенности многолетнего гидрологического режима на российской части бассейна реки Западная Двина в условиях изменяющихся климатических условий недостаточно изучены, в работе была поставлена цель выявить многолетние и внутригодовые изменения речного стока как результат отклика на вариации климатических параметров с применением инструментов численного моделирования.

Для расчетов гидрологических характеристик бассейна реки Западная Двина использована одномерная гидрологическая модель НУРЕ, применение которой позволило получить расчетные значения расхода воды и слоя стока за период 1966—2015 гг.

Согласно результатам моделирования, слой стока изменяется по территории водосбора в пределах от 250 до 305 мм в год, причем наибольшими значениями характеризуется северо-восточная часть водосбора и сохраняется закономерность уменьшения этого параметра от верховьев реки к устью.

На российской части водосбора реки Западная Двина в период 1966—2015 гг. происходило повышение температуры воздуха и увеличение количества атмосферных осадков и речного стока. Изменение тренда слоя стока нелинейно относительно тренда количества выпавших осадков и всегда его превышает.

Автор выражает искреннюю благодарность сотрудникам ФГБУ «Государственный гидрологический институт» Е.А. Греку и Т.Г. Молчановой за предоставленные для анализа материалы. Настоящая публикация подготовлена при поддержке темы 0149-2018-0012 Государственного задания Федерального агентства научных организаций.

Список литературы

1. *Анисимов О.А., Жильцова Е.Л.* Об оценках изменений климата регионов России в XX в. и начале XXI в. по данным наблюдений // *Метеорология и гидрология*. 2012. № 6. С. 95—107.
2. *Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М.* Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТР) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitatiopn#описание-массива-данных> (дата обращения: 12.10.2017 г.).
3. *Дроздов В.В., Смирнов Н.П.* Многолетняя динамика климата и гидрологического режима в районе Балтийского моря и ее причины // *Метеорология и гидрология*. 2011. № 5. С. 77—87.
4. *Западная Двина — Даугава. Река и время / Л.С. Аносова и др.* Под общ. ред. В.Ф. Логинова, Г.Я. Сегалю. Минск: Беларус. наука, 2006. 270 с.
5. *Кондратьев С.А., Шмакова М.В.* Математическое моделирование стока реки Невы в условиях возможного изменения климата // *Ученые записки РГГМУ*. 2016. № 42. С. 24—32.
6. *Логинов В.Ф., Волчек А.А., Шелест Т.А.* Анализ и моделирование гидрографов дождевых паводков рек Беларуси // *Водные ресурсы*. 2015. Т. 42. № 3. С. 268—278.
7. *Сперанская Н.А., Цыценко К.В.* Изменения основных элементов влагооборота суши на европейской части России // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2017. № 3. С. 103—121.
8. *Сперанская Н.А., Цыценко К.В.* Суммарное испарение в бассейнах рек Северная и Западная Двина и его изменчивость // *Метеорология и гидрология*. 2013. № 8. С. 77—87.
9. *Чубаренко Б.В., Есюкова Е.Е., Домнин Д.А., Лейцина Л.В.* Оценка влияния возможных изменений климата на Вислинский залив (Балтийское море) и его водосборный бассейн // *Процессы в гео-средах*. 2015. № 1 (1). С. 113—121.
10. *Domnin D., Chubarenko B., Capell R.* Formation and Re-Distribution of the River Runoff in the Catchment of the Pregolya River / V.A. Gritsenko et al. (eds.). In: *Terrestrial and Inland Water Environment of the Kaliningrad Region — Environmental Studies in the Kaliningrad Region*, HdbEnvChem, Springer International Publishing AG 2017. P. 269—284. DOI 10.1007/698_2017_97.
11. *Donnelly, C., Dahné, J., Rosberg, J., Strömqvist, J., Yang, W. and Arheimer, B.* (2010) High-resolution, large-scale hydrological modeling tools for Europe / *Proc. Sixth World FRIEND Conf., Fez, Morocco, October 2010*. IAHS Publ. 340, 2010.