

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ И ИХ ИЗМЕНЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД*

Рассмотрены условия формирования речного стока в пределах европейской части России. Приведены данные по генезису вод крупнейших рек исследуемой территории. Выявлена основная роль в изменениях стока во времени осадков, выпадающих при прохождении над речными бассейнами атлантических циклонов. Описано распределение стока по территории европейской части России, исследованы периодические составляющие многолетних колебаний речных вод. Показано, что колебания во времени стока крупнейших рек европейской части России вызваны, в первую очередь, циркуляционными факторами.

Ключевые слова:

атмосферные осадки, генезис вод, изменчивость стока, речной сток.

Бабкин В.И. Водные ресурсы европейской территории России и их изменения в современный период // Общество. Среда. Развитие. – 2015, № 2. – С. 145–150.

© Бабкин Владимир Иванович – доктор географических наук, заведующий лабораторией «Водные ресурсы и баланс вод», ФГБУ «ГГИ»; e-mail: Vladimir-Babkin@mail.ru

В естественных условиях речной сток по территории европейской части России изменяется в соответствии с географической зональностью и рельефом местности. Изучение изменений речного стока во времени и по территории в настоящее время является исключительно актуальной задачей в связи с уменьшением за последние 30 лет антропогенного воздействия на водные ресурсы речных бассейнов России и увеличением средней годовой температуры воздуха.

В настоящей статье в рамках этой задачи кратко рассматриваются: увлажнение территории европейской части России, основные факторы изменения речного стока, синхронность и асинхронность его колебаний во времени, генезис и состав вод её крупнейших рек.

1. Увлажнение территории европейской части Российской Федерации

Атмосферные осадки – основной источник увлажнения суши. Они выпадают на территорию России в основном при прохождении циклонов, зарождающихся над

океанами и морями, а также и над территорией суши. Часть осадков выпадает из испарившейся влаги местного формирования. На процессы выпадения осадков большое влияние оказывает рельеф местности: горы, равнины, хребты и т.д.

На севере европейской части России на горный массив Росвумчорр за год выпадает до 1000 мм/год осадков. В Хибинах и Ловозерских горных районах, на Коношско-Няндомской возвышенности и перед возвышенностями Карельского и Олонечкого перешейка, а также на западных склонах Валдайской возвышенности годовая сумма осадков составляет 800 мм/год. На западных склонах Смоленско-Московской и Средне-Русской возвышенностей, на возвышенных местах Клинско-Дмитровской гряды осадков выпадает примерно на 100 мм меньше. Вблизи крупных водоёмов – Рыбинское водохранилище, Ладожское озеро, озера Ильмень и Чудское суммы осадков за год составляют 650–700 мм/год.

На равнинной части территории суммы осадков за год равны 660–700 мм. Приволжская возвышенность является границей,

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 14-05-00837).

к востоку от которой количество осадков резко уменьшается от 450 мм до 400–350 мм. В Поволжье количество осадков убывает по направлению с северо-запада на юго-восток. Наибольшие их суммы – 600–650 мм/год выпадают в западных и центральных районах Приволжской и Бугульминско-Белебеевской возвышенностей, и лишь 380 мм – на юго-востоке Саратовской области. В дельте Волги и на островах Каспийского моря годовая сумма выпадающих осадков – 200–380 мм – наименьшая. По сравнению с прилегающей территорией в пределах Волжских водохранилищ их выпадает на 10–15% меньше.

На западных склонах Полярного Урала и на вершинах гор Северного Урала за год выпадает до 1000 мм осадков, а в долинах рек они снижаются до 600–700 мм. В горной зоне по оси Большого Кавказа количество осадков изменяется в пределах 1200–1500 мм. В верхнем течении реки Терек за год выпадает около 700 мм осадков, в долине реки Кубани – 650–700 мм, а на Кубано-Приазовской низменности – 630–650 мм. В горном Дагестане количество осадков увеличивается в районе Главного Кавказского хребта. В центральных районах оно колеблется от 300 до 400 мм.

2. Основные факторы формирования речного стока

В отличие от атмосферных осадков – основного источника увлажнения территории – речной сток является важнейшим показателем увлажнения речных бассейнов. На формирование речного стока в периоды половодья, паводков и межени в пределах европейской части России оказывают влияние многие факторы, важнейшими из которых являются: солнечная радиация, атмосферная циркуляция и рельеф местности. Европейская территория России расположена в различных климатических поясах. Это обстоятельство способствует большому различию в количествах суммарной солнечной радиации, поступающей на ее поверхность. Если в арктическом поясе на остров Новая Земля поступает за год 65 ккал/см²/год солнечного тепла, то на крайнем юге европейской части – 120–130 ккал/см²/год [11, с. 319].

Циркуляционные условия над европейской территорией России в существенной мере обусловлены ее положением относительно морей и океанов, существованием областей высокого и низкого давления (центров действия атмосферы – ЦДА) и их смещением во времени. На климат, а следовательно, и на водные ресурсы рек

исследуемой территории, оказывают влияние следующие области высокого давления: Азорский, Арктический и частично Азиатский максимумы (антициклоны) и Исландский минимум давления. Взаимодействие областей высокого и низкого давления (ЦДА) предопределяет движение воздушных масс и направление ветров. Так, при смещении к северу Исландской депрессии и Азорского антициклона открывается путь атлантическим циклонам на север и Арктический антициклон смещается несколько восточнее своего среднего многолетнего местоположения [6, с. 33]. Наоборот, при движении к югу Исландской депрессии и Азорского антициклона Арктический антициклон смещается к западу, его отрог распространяется на Гренландию, что препятствует проникновению циклонов на север, в результате чего они устремляются на территорию Европы.

На формирование речного стока в пределах европейской части России (ЕТР) существенное влияние оказывает рельеф местности. Здесь расположена крупнейшая в мире Восточно-Европейская равнина, которая на востоке доходит до Уральских гор. Рельеф ЕТР отличается большим разнообразием. Для территории Карелии характерен холмистый рельеф с высотами около 200 м, а на северо-западе – до 600 м. Рельеф западной части Кольского полуострова средне и низкогорный со значительными амплитудами высот. Холмистые равнины высотой 400–500 м чередуются с долинами рек и озерами. На Кольском полуострове распространены горные массивы Хибинских и Ловозерских тундр высотой 1000–1200 м. В северо-западной части Восточно-Европейской равнины расположены Валдайская, Смоленско-Московская, Северные Увалы и другие возвышенности и Верхневолжская и Мещерская низменности. В центральной её части находятся Среднерусская и Приволжская возвышенности и Окско-Донская низменная равнина.

На севере и юге восточной части исследуемой территории расположены Печорская и Прикаспийская низменности, а между ними – Уфимское плато, Бугульминско-Белебеевская, Общий Сырт, Верхне-Камская возвышенности и Тиманский кряж. Наиболее высокие отметки в европейской части России: вершины Эльбруса – 5642 м. и Казбека – 5033 м находятся на юге в пределах Главного Кавказского хребта. Подобно осадкам, величины стока отражают изменения рельефа. К возвышенностям приурочены более высокие

значения стока, а к низинам – его пониженные значения. Обычно атмосферные осадки, а, следовательно, и речной сток, увеличиваются на наветренных склонах возвышенностей и уменьшаются на подветренных.

Помимо указанных основных, на формирование водного режима рек и объемов годового стока существенное влияние оказывают и многие другие факторы: наличие в бассейнах лесов, озёр, болот, карста, гидрогеологические условия водосборов, состав почво-грунтов и др.

3. Генезис и состав речных вод европейской части России, обусловленных осадками, выпадающими из циклонов разных зон образования

Для гидрологического обеспечения социально-экономического развития нашего государства особое значение имеет решение комплекса задач, связанных с изучением динамики пресных водных ресурсов, выявлением периодов лет различной водности, наличием синхронности и асинхронности в рядах стока, с разработкой надежных методов гидрологических расчетов и прогнозов.

Решение этих и других задач неразрывно связано с выявлением генезиса и состава речных вод. Под генезисом вод понимается происхождение их от атмосферных осадков, выпадающих при прохождении циклонов, зарождающихся в различных регионах, а под составом вод – процентное соотношение объемов стока, обусловленных циклоническими осадками разных зон зарождения [4, с. 12].

В табл. 1 приводятся данные по стоку бассейна Волги и его частных водосборов, сформированному атмосферными осадками, выпавшими при прохождении циклонов, образовавшихся в следующих зонах их зарождения: Атлантическая, Средиземноморская, Черноморская, Западно-Европейская, Восточно-Европейская и

Северная. Исследования проведены для двух десятилетних периодов: маловодного 1966–1975 гг. и многоводного 1976–1985 гг. [3, с. 97; 6, с. 91].

Из табл. 1 видно, что атлантические циклоны в многоводный период, по сравнению с маловодным, способствовали увеличению стока Волги на 31 мм, то есть практически на 89 %.

В результате аналогичных исследований для остальных крупнейших речных бассейнов Восточно-Европейской равнины получено, что изменения стока от маловодных лет к многоводным составляют для Дона 38%, Невы – 40%, Северной Двины – 34%, Печоры – 25% и обусловлены циклоническими осадками атлантического происхождения [6, с. 91].

4. Распределение речного стока по территории европейской части России

Вследствие разнообразия природных условий в пределах различных географических зон, распределение стока по территории европейской части Российской Федерации крайне неравномерное. Значения стока равнинных рек уменьшаются по направлению с севера на юг, а в горах сток увеличивается в соответствии с высотой местности. В горных районах Кавказа значения стока, выраженные в виде слоя воды, достигают 1500 мм/год и более, а в полупустынных районах Прикаспийской низменности – всего 10–5 мм/год и менее. На территории европейской части России значения стока отклоняются от широтного расположения по направлению с северо-запада на юго-восток в соответствии с уменьшением осадков от побережья Балтийского моря к Прикаспийской низменности.

Рельеф в пределах рассматриваемой территории вносит существенные изменения в распределение по территории стока. К возвышенностям приурочены более высокие значения стока, а к низинам – по-

Таблица 1

Сток в бассейне Волги, сформированный циклоническими осадками в маловодный 1966–1975 гг. (числитель) и в многоводный 1976–1985 гг. (знаменатель) периоды, в мм и %

Зона зарождения циклонов	Верхняя Волга		Ока		Кама		Средняя и Нижняя Волга		Волга в целом	
	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%
Атлантическая	54/84	30/35	24/59	17/33	23/58	10/23	17/42	20/31	27/58	16/29
Средиземноморская	13/12	7/5	16/14	11/8	14/15	6/6	3/12	4/9	11/13	7/6
Черноморская	8/12	4/5	18/14	13/8	16/18	7/7	6/14	7/10	12/16	7/8
Западно-Европейская	71/74	37/31	54/55	38/31	54/45	23/18	25/30	29/22	49/47	29/24
Восточно-Европейская	36/48	19/20	29/32	20/18	112/103	48/41	29/34	34/25	61/61	37/30
Северная	4/10	2/4	2/5	1/3	14/10	6/4	4/4	5/3	7/7	4/3

ниженные его величины. Началом зоны пониженного стока являются степные районы юга Причерноморской низменности и Приазовья. Здесь величины среднего годового стока обычно не превышают 15,0 мм/год. Восточнее зона пониженного стока проходит через Прикаспийскую низменность. Здесь его значения уменьшаются до 6–2 мм/год.

Значительные величины стока характерны для тундровой зоны. На европейской части России область повышенных значений стока – 315–380 мм – проходит вдали от побережий Белого и Баренцева морей, достигая Уральских гор. К северу от этой области значения стока постепенно уменьшаются. Однако его уменьшение невелико, так как наряду с уменьшением осадков в этом направлении уменьшается и испарение. Наиболее многоводными реками в ЕТР являются: Волга, Печора, Северная Двина, Нева, Дон, Неман, Кубань, Терек. Но большая часть бассейна Немана расположена за пределами России.

5. Колебания водных ресурсов во времени

Водные ресурсы речных бассейнов циклически изменяются во времени. В исследованиях ученых Государственного гидрологического института [1, с. 97; 7, с. 34], было показано, что наличие цикличности в рядах стока является их важным свойством. В.Г. Андреев [1, с. 97] предложил с целью достоверной оценки среднесезонных значений стока рек учитывать наличие в их временных рядах не менее двух циклов водности. В этом случае среднее многолетнее значение стока по существу является его «нормой». К.П. Воскресенский [7, с. 34], опираясь на исследования В.Г. Андреева, оценил норму и изменчивость годового стока около 6000 рек и водотоков Советского Союза. Циклические колебания стока рек Северного полушария исследовал П.С. Кузин [8, с. 103].

Наличие циклических составляющих в рядах стока можно оценить с помощью их математического описания синусоидальными функциями, позволяющими выявить продолжительность периодов, а также амплитуды колебаний [2, с. 5]. В результате для крупнейших рек ЕТР были выявлены следующие значимые периоды колебаний (годы): р. Северная Двина – 6; 13; 31; 105; р. Печора – 4; 8; 40; р. Нева – 8; 11; 29; 130; р. Неман – 8; 16; 26; 135; р. Волга – 7; 11; 13; 17; 20; 34; р. Дон – 8; 13; 16; 21; 117; р. Кубань – 5; 8; 25; 48; 84; р. Терек – 7; 10; 12; 15; 20; 29. Из полученных данных видно,

что в колебаниях стока пяти рек из восьми (реки Печора, Нева, Неман, Дон, Кубань) отмечается восьмилетний период, для рек Волги и Терека – семилетний период и для р. Северной Двины – шестилетний. В рядах стока рассматриваемых рек довольно часто отмечаются периоды продолжительностью 10–13 лет. В колебаниях стока рек выявлены также и другие периоды, которые являются незначительными. Например, в стоке р. Волги выявлены незначительные периоды, продолжительностью 4 года и 56 лет, в стоке р. Дона – продолжительностью 29 лет и 3 года. Значимость выявленных периодов в стоке рек оценивалась по соотношению величин корреляционных отношений ρ между фактическими данными по стоку и значениями, снятых с соответствующих синусоид, к их средним квадратическим ошибкам σ_ρ . Значимыми принимались те периоды, для которых $\rho / \sigma_\rho \geq 2$.

Наличие периодичностей в динамике стока позволяет, основываясь на анализе ее внутренней структуры, разрабатывать методы его прогноза на ближайшую перспективу [2, с. 9]. В результате накопления данных по стоку воды стало возможным оценивать его изменчивость. Для этой цели в гидрологии используется коэффициент вариации (C_v), равный отношению среднего квадратического отклонения ряда к его среднему значению. В табл. 2 приведены сведения о средних многолетних значениях водных ресурсов крупнейших речных бассейнов европейской части России и изменчивости их стока за единый период наблюдений с 1930 по 2005 гг.

Таблица 2

Водные ресурсы крупнейших речных бассейнов ЕТР (км³/год) и их изменчивость

№ п/п	Речной бассейн	Водные ресурсы	Коэффициент изменчивости, C_v
1	Северная Двина	103	0,16
2	Печора	131	0,15
3	Нева	75,7	0,16
4	Неман	19,2	0,16
5	Волга	260	0,17
6	Дон	26,8	0,33
7	Кубань	14,4	0,18
8	Терек	11,1	0,13

Из табл. 2 видно, что для семи крупнейших рек европейской части России коэффициент вариации стока воды не превышает 0,20, т.е. изменчивость стока является малой. Лишь сток реки Дон характеризуется высокой изменчивостью $C_v = 0,33$.

6. Синхронность и асинхронность колебаний стока крупнейших рек ЕТР

Количественным показателем синхронности (асинхронности) колебаний речного стока сравнимых водотоков обычно служит парный коэффициент корреляции r . При $r = 1$ отмечается полная синхронность, при $r = -1$ – полная асинхронность. Синхронность и асинхронность многолетних колебаний стока рек Советского Союза оценивалась неоднократно многими исследователями [8, с. 103; 5, с. 36]. В табл. 3 показаны значения коэффициентов корреляции между стоком крупнейших рек ЕТР, которые рассчитывались за период наблюдений с 1930 по 2005 гг. При этом достоверными (значимыми) являются коэффициенты корреляции, величины которых по модулю равны или превышают $r_{кр} = 0,22$.

Из табл. 3 следует, что рекам ЕТР свойственны большей частью либо слабо синхронные, либо асинхронные колебания. Лишь для ряда соседних речных бассейнов наблюдается довольно значительная корреляция (Северная Двина и Волга, Кубань и Терек). Всего из 28 попарных корреляций значимы только 14, то есть 50%. Из них со знаком «+» оказалось 9 коэффициентов корреляции, а со знаком «-» – 5. Кроме того, оценка синхронности и асинхронности колебаний стока рассматривалась за два более коротких периода: 1925–1971 гг. и 1972–2010 гг., выбор которых обусловлен различной направленностью тренда температуры воздуха. Результаты показали, что число значимых корреляций значительно уменьшилось: для первого периода их оказалось 8, а для второго – только три.

7. Изменения годового стока и водного режима рек европейской части России за период наблюдений

В настоящее время распространено мнение о существенном «потеплении климата» за последние три десятилетия вследствие выброса в атмосферу большого объема парниковых газов. Однако существуют и другие гипотезы о причинах современного роста температуры воздуха, вызванного естественными факторами [6, с.74; 9 с. 139]: крупномасштабным взаимодействием океана и атмосферы, изменением альбеда земной поверхности, солнечной активности, изменениями скорости вращения Земли

и др. По мнению В.Л. Сывороткина [12, с. 333], основной причиной увеличения температуры воздуха является взаимодействие эндогенных водорода и метана со стратосферным озоном, что приводит к разрушению озонового слоя. В образовавшиеся озоновые аномалии происходит втягивание южных антициклонов и дополнительный приток солнечной энергии из стратосферы.

Данные наблюдений, начиная с 1901 г. свидетельствуют о повышении температуры воздуха на ЕТР, причем наиболее интенсивный ее рост отмечается с 1976 и характеризуется трендом $0,49^{\circ}\text{C}/10$ лет, который более чем в 2 раза выше тренда средней температуры воздуха северного полушария [10, с. 37]. Возникает вопрос, влияет ли изменчивость температуры на годовой сток рек ЕТР? С этой целью для крупнейших рек ЕТР были выполнены исследования по оценке однородности стокowych рядов по критериям Фишера и Стьюдента и наличия в них трендов. Для этого единый период исследований 1930–2005 гг. был разбит на два: первый – 1930–1979 гг., для которого характерно отсутствие значимого тренда, и 1980–2005 гг., характеризующийся резким ростом температуры. В результате установлено, что из семи рассматриваемых речных бассейнов сток лишь р. Нева однороден как по среднему значению, так и по дисперсии. Сток р. Волга неоднороден по обоим критериям однородности, что объясняется наиболее сильным влиянием циклонической деятельности в этом бассейне за последний период, по сравнению с первым, а также уменьшением объемов вод, забираемых на нужды орошения. В остальных пяти бассейнах ряды стока однородны либо по дисперсии, либо по среднему значению. Расчет линейных трендов для стока исследуемых рек ЕТР

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между стоком крупнейших рек ЕТР

№ п/п	Река	1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Северная Двина	1	0,31	0,15	0,15	0,56	0,11	-0,04	-0,24
2.	Печора		1	0,17	-0,01	0,23	-0,22	-0,21	-0,11
3.	Нева			1	0,25	0,17	-0,14	-0,08	-0,23
4.	Неман				1	0,28	0,33	0,05	-0,23
5.	Волга					1	0,39	-0,19	-0,25
6.	Дон						1	0,24	0,01
7.	Кубань							1	0,52
8.	Терек								1

150 | думых рек показал, что значимые тренды отсутствуют.

Рассмотрим теперь результаты сравнения среднегодовых величин годового стока за два интервала времени: с 1935 года по 1979 год и с 1935 года по 2005 год (табл. 4). Анализ данных табл. 4 показывает, что на ряде речных бассейнов ЕТР (Северная Двина, Нева, Неман, Дон) сток за более продолжительный период оказался ниже, чем за более ранний период, в то время как на других (Печора, Волга, Кубань, Терек) – выше. Однако выявленные изменения стока, за исключением р. Кубань, находятся в пределах погрешности его определения.

Таблица 4

Сток крупнейших рек европейской части России, оцененный за периоды по 1979 год и по 2005 год включительно

№ п/п	Речной бассейн	Площадь водосбора, км ²	Значения стока, км ³ /год		Разность стока, %
			по 1979 год	по 2005 год	
1	Северная Двина	357000	109	103	-5,5
2	Печора	322000	130	131	0,8
3	Нева	281000	78,5	75,7	-3,6
4	Неман	98200	19,7	19,2	-2,5
5	Волга	1380000	254	260	2,4
6	Дон	422000	28,1	26,8	-4,6
7	Кубань	57900	13,5	14,4	6,7
8	Терек	37400	11,0	11,1	0,9

Итак, полученные результаты показывают, что влияние потепления климата практически не сказалось на годовом стоке рек. Это подтверждает полученный в результате обобщения многолетних колебаний годового и сезонного стока рек России [6, с. 152] вывод, что «результаты статистических расчетов свидетельствуют о том, что пока происходящие изменения находятся в пределах естественной изменчивости».

Заключение

Генетический состав речных вод, определяемый атмосферными осадками, выпадающими при прохождении циклонов из разных зон их зарождения, весьма различен для крупнейших рек европейской части России. По существу основная роль в формировании стока рассматриваемых рек принадлежит атлантическим циклонам. Особенно она велика для бассейна Волги. Коэффициент вариации C_v годового стока крупнейших рек ЕТР, за исключением реки Дон, изменяется от 0,13 (р. Терек) до 0,18 (р. Кубань). Коэффициент изменчивости стока реки Дон составляет 0,33.

Установлено, что крупнейшим рекам европейской части России свойственны преимущественно слабо синхронные и асинхронные колебания стока во времени. Происходящие в последние три десятилетия колебания ежегодно возобновляемых водных ресурсов рек ЕТР практически не реагируют на значительное повышение температуры воздуха.

Список литературы:

- [1] Андреев В.Г. Гидрологические расчеты при проектировании малых и средних гидроэлектростанций. – Л.: Гидрометеиздат, 1957. – 524 с.
- [2] Бабкин А.В. Скрытые периодичности и долгосрочное прогнозирование стока рек России. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 56 p.
- [3] Бабкин В.И. Сток Волги в периоды ослабления и усиления циклонической активности. // Метеорология и Гидрология. – 1995, № 1. – С. 94–100.
- [4] Бабкин В. И. Механизм увлажнения и сток рек Русской равнины. // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия. – Томск: изд-во НТЛ, 2000. – С. 12–15.
- [5] Водные ресурсы СССР и их использование. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 302 с.
- [6] Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И.А. Шикломанова. – СПб.: изд. ГГИ, 2008. – 598 с.
- [7] Воскресенский К.П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 543 с.
- [8] Кузин П.С., Бабкин В.И. Географические закономерности гидрологического режима рек. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 200 с.
- [9] Малинин В.Н. Влажностное содержание атмосферы и парниковый эффект // Общество. Среда. Развитие. – 2014, № 3. – С.139–145.
- [10] Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1. Изменения климата. – М.: Росгидромет, 2008. – 227 с.
- [11] Пивоварова З.И. Радиационные характеристики климата СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 336 с.
- [12] Сывороткин В.А. Усиление глубинной дегазации как причина глобальных катастроф // Современные глобальные изменения природной среды. Т. 3. – М.: Научный мир, 2012. – С. 321–349.