



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕКИ ДНЕПР В СТВОРЕ ГОРОДА СМОЛЕНСКА

П.С. Сысоева, студентка,  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный  
технический университет»

Статья посвящена анализу гидрологических характеристик р. Днепр в створе г. Смоленска за период с 1945 по 1974 г. Показано, что продолжительность ряда наблюдений достаточна для проведения расчетов.

*р. Днепр, гидроствор, расход воды, ряд наблюдений, норма стока*

Планирование обеспеченности водой населения любого региона и развития предприятий диктует необходимость прогнозировать возможные изменения источников водоснабжения. В больших городах значительная часть исходной воды поступает из поверхностных источников, в том числе из рек [1–2]. Вот почему возрастает роль исследования гидрологических характеристик водотоков как современных, так и в определенные периоды в прошлом [3–5]. В данной статье рассматриваются гидрологические характеристики р. Днепр в створе г. Смоленска за период 1945–1974 гг.

Истоки Днепра находятся вблизи оз. Гавриловское, на высоте 220 м над уровнем моря, в Смоленской области. Длина реки составляет 2201 км (примерно 22 % ее находится на территории России), общая площадь водосборного бассейна Днепра – 504 тыс. км<sup>2</sup> (из них только 19,8% на территории России), причем около половины ее приходится на долю сельскохозяйственных угодий. Пашня занимает 32,8%, поселения – 2,4% площади бассейна [6].

Климат в российской части бассейна р. Днепр – умеренно континентальный, с холодными зимами и тёплым летом. Среднегодовая температура составляет 5 °С. Годовая сумма осадков изменяется от 680 до 750 мм. На жидкие осадки (дожди) приходится в среднем 78 %, на снег и град – 8%, остальное – смешанные осадки. Регион является зоной избыточного (отдельные районы – достаточного) увлажнения. Ландшафты представлены холмистой моренной равниной с преобладанием хвойных и смешанных лесов. Более 40% площади бассейна занимают леса. Коэффициент густоты речной сети варьируется от 0,30 до 0,45 км/км<sup>2</sup>. На участке от истока до г. Смоленска (и далее до г. Орша Витебской области Белоруссии) Днепр представляет собой небольшую реку, ширина русла которой не превышает 30 м [5].

Внутригодовое распределение стока Днепра соответствует восточноевропейскому типу водного режима, для которого характерны весеннее половодье, летняя межень, осенние паводки и зимняя межень. До 65% годового объёма стока воды формируется в весенний период. Осенью наблюдаются дождевые паводки, вызывающие подъём уровней на 3–4 м. Наиболее низкие уровни воды в Днепре отмечены в конце зимы. В периоды оттепелей они могут повышаться на 1,5 м и больше. 50% годового объёма стока приходится на талые воды; доля подземного питания реки – 27 %, дождевого – 23 % [5].

Площадь водосбора в данной работе определялась методом палеток (см. табл. 1).

Таблица 1 – Определение площади водосбора реки

Наименование площадей	Расстояние от устья, км	Площадь, км <sup>2</sup>	
		F	∑ F
Левый берег			
Межприточ. 1		22,0	22,0
Приток 1	17,11	64,0	86,0

Наименование площадей	Расстояние от устья, км	Площадь, км <sup>2</sup>	
		F	∑ F
Межприточ. 3		8,6	94,6
Приток 2	9,79	82,0	176,6
Межприточ. 5		30,0	206,6
...			
Правый берег			
Межприточ. 2		76,0	76,0
Приток 3	6,76	52,0	128,0
Межприточ. 4		8,0	136,0
...			

Итого площадь бассейна р. Днепр (до Смоленска) F = 14100 км<sup>2</sup>.

В табл. 2 представлены значения среднегодовых расходов р. Днепр в створе Смоленска, взятые в [7]. По ним построен график (рисунок) и вычислена норма годового стока (среднеарифметическое значение расхода за многолетний период такой продолжительности, при увеличении которой значение существенно не изменится) по формуле из нормативного документа [8]:

$$Q_{\text{ср}} = \frac{\sum Q_i}{n} = 93,39 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Норма годового стока, рассчитанная в [7] с начала наблюдений (1881 г.), Q = 95,6 м<sup>3</sup>/с. Значит, в исследованный период преобладали маловодные годы, что можно видеть и по рис. 1.

Для сравнения среднегодовой расход р. Днепр выше по течению (Дорогобуж) равен 43,1 м<sup>3</sup>/с, а ниже по течению (Орша) – 123 м<sup>3</sup>/с [7].

Среднегодовой модуль стока и слой стока (Т – количество секунд в год)

$$q_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{ср}}}{F} = 6,62 \text{ л}/(\text{с кв.км}); \quad h_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{ср}} \cdot T}{F} = 210 \text{ мм}$$

также меньше значений, приведенных в [7] (6,62 л/(с кв.км) и 214 мм, соответственно).

Определим коэффициент вариации Cv и коэффициент асимметрии Cs методом моментов (через статистические моменты ряда наблюдений) [8] (см. табл. 3):

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum (ki-1)^2}{n-1}} = 0,28; \quad C_s = n \cdot \frac{\sum (ki-1)^3}{(n-1)(n-2)C_v^3} = 1,16.$$

Таблица 2 – Среднегодовые расходы р. Днепр в створе Смоленска [7]

№ п/п	Год	Qi, м <sup>3</sup> /с	№ п/п	Год	Qi, м <sup>3</sup> /с
1	1945	82,9	16	1960	81,6
2	1946	84,9	17	1961	95,9
3	1947	128	18	1962	168
4	1948	82,3	19	1963	75,5
5	1949	90,4	20	1964	66,4
6	1950	91,2	21	1965	52,1
7	1951	93,5	22	1966	90,8
8	1952	116	23	1967	76,4
9	1953	129	24	1968	77,8
10	1954	82,7	25	1969	79,2
11	1955	100	26	1970	111
12	1956	108	27	1971	91,9

№ п/п	Год	$Q_i, \text{м}^3/\text{с}$	№ п/п	Год	$Q_i, \text{м}^3/\text{с}$	
13	1957	111	28	1972	64,3	
14	1958	153	29	1973	60,7	
15	1959	80,3	30	1974	76,9	
					$\sum Q_i$	2801,7
					$Q_{\text{ср.}}$	93,39

На рисунке представлен гидрологический ряд р. Днепр в створе г. Смоленска, построенный по данным табл. 1.

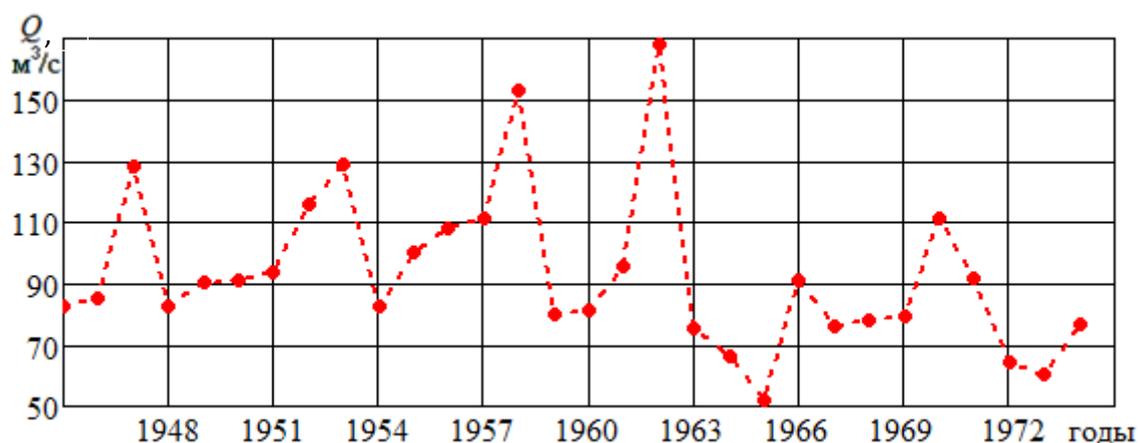


Рисунок – Среднегодовые расходы р. Днепр в створе г. Смоленска

Для сравнения рассчитаем коэффициент вариации и коэффициент асимметрии методом наибольшего правдоподобия [8] (см. табл. 4):

$$\lambda_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \lg(K_i)}{n-1} = -0.0255; \quad \lambda_3 = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \cdot \lg(K_i)}{n-1} = 0.0156.$$

Разница расчета коэффициента по двум формулам составляет всего 2,5%. Следовательно, расчеты можно проводить более простым методом – методом моментов.

Таблица 3 – Определение коэффициентов методом моментов

№ п/п	$K_i$	$K_i - 1$	$(K_i - 1)^2$	$(K_i - 1)^3$
1	0,8876753	-0,11232466	0,012617	-0,00142
2	0,9090909	-0,09090909	0,008264	-0,00075
3	1,3705964	0,370596424	0,137342	0,050898
4	0,8812507	-0,11874933	0,014101	-0,00167
5	0,9679837	-0,03201628	0,001025	-3,3E-05
6	0,97655	-0,02345005	0,00055	-1,3E-05
7	1,0011779	0,001177856	1,39E-06	1,63E-09
8	1,242103	0,242103009	0,058614	0,014191
9	1,3813042	0,381304208	0,145393	0,055439
10	0,8855338	-0,11446622	0,013103	-0,0015
11	1,0707785	0,070778456	0,00501	0,000355
12	1,1564407	0,156440732	0,024474	0,003829
13	1,1885641	0,188564086	0,035556	0,006705
14	1,638291	0,638291038	0,407415	0,26005

№ п/п	K <sub>i</sub>	K <sub>i</sub> – 1	(K <sub>i</sub> – 1) <sup>2</sup>	(K <sub>i</sub> – 1) <sup>3</sup>
15	0,8598351	-0,1401649	0,019646	-0,00275
16	0,8737552	-0,12624478	0,015938	-0,00201
17	1,0268765	0,026876539	0,000722	1,94E-05
18	1,7989078	0,798907806	0,638254	0,509906
19	0,8084377	-0,19156227	0,036696	-0,00703
20	0,7109969	-0,28900311	0,083523	-0,02414
21	0,5578756	-0,44212442	0,195474	-0,08642
22	0,9722668	-0,02773316	0,000769	-2,1E-05
23	0,8180747	-0,18192526	0,033097	-0,00602
24	0,8330656	-0,16693436	0,027867	-0,00465
25	0,8480565	-0,15194346	0,023087	-0,00351
26	1,1885641	0,188564086	0,035556	0,006705
27	0,9840454	-0,0159546	0,000255	-4,1E-06
28	0,6885105	-0,31148945	0,097026	-0,03022
29	0,6499625	-0,35003748	0,122526	-0,04289
30	0,8234286	-0,17657137	0,031177	-0,00551
Σ			2,2250782	0,6875266

Ошибка определения среднего многолетнего расхода [8]

$$E_Q = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \cdot 100\% = 5.1\%.$$

Ошибка определения коэффициента вариации

$$E_{C_v} = \frac{1}{n+4C_v^2} \cdot \sqrt{\frac{n(1+C_v^2)}{2}} \cdot 100\% = 13\%.$$

Ошибка определения коэффициента асимметрии

$$E_{C_s} = \frac{1}{C_s} \cdot \sqrt{\frac{6}{n}} \cdot (1 - C_v^2) \cdot 100\% = 3,7\%.$$

Таблица 4 – Определение коэффициентов методом наибольшего правдоподобия

№ п/п	K <sub>i</sub>	Lg K <sub>i</sub>	K <sub>i</sub> · lgK <sub>i</sub>	№	K <sub>i</sub>	Lg K <sub>i</sub>	K <sub>i</sub> · lgK <sub>i</sub>
1	0,88767	-0,051745	-0,04593	16	0,87375	-0,058610	-0,05121
2	0,90909	-0,041392	-0,03763	17	1,02687	0,0115182	0,011828
3	1,37059	0,1369095	0,187648	18	1,79890	0,2550089	0,458738
4	0,88125	-0,054900	-0,04838	19	0,80843	-0,092353	-0,07466
5	0,96798	-0,014131	-0,01368	20	0,71099	-0,14813	-0,10532
6	0,97655	-0,010305	-0,01006	21	0,55787	-0,253462	-0,1414
7	1,00117	0,0005112	0,000512	22	0,97226	-0,012214	-0,01188
8	1,2421	0,0941576	0,116953	23	0,81807	-0,087207	-0,07134
9	1,38130	0,1402893	0,193782	24	0,83306	-0,079320	-0,06608
10	0,88553	-0,052794	-0,04675	25	0,84805	-0,071575	-0,06070
11	1,07077	0,0296996	0,031802	26	1,18856	0,0750226	0,089169
12	1,15644	0,063123	0,072998	27	0,98404	-0,006984	-0,00687
13	1,18856	0,0750226	0,089169	28	0,68851	-0,16208	-0,11160
14	1,63829	0,2143910	0,351235	29	0,64996	-0,187111	-0,12162
15	0,85983	-0,065584	-0,05639	30	0,82342	-0,084374	-0,06948
					Σ	-0,438638	0,45284

Таким образом, по п. 5.1 нормативного документа [8] продолжительность периода наблюдений годового стока можно считать достаточной, так как относительная средняя квадратическая погрешность не превышает 10 %. Сравнение нормы, слоя и модуля стока со значениями, приведенными в [7], показало, что в рассмотренный период преобладали мало-водные годы. Расчеты можно проводить методом моментов, не внося заметной погрешности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водоснабжение крупных городов. Вызовы времени и пути развития: материалы научно-практической конференции (Москва, 30 октября 2014 г.) [Электронный ресурс]. URL: [http://www.mosvodokanal.ru/forexperts/articles/Sbornik\\_conference.pdf](http://www.mosvodokanal.ru/forexperts/articles/Sbornik_conference.pdf) (дата обращения: 01.10.2016).

2. Гаас, А.В. Проблемы водоснабжения: все дело в трубе / А.В. Гаас // Строй ПРОФИЛЬ. – 2000. – № 4. – С. 26–28.

3. Наумов, В.А. Методы обработки гидрологической информации / В.А. Наумов // Вестник учебно-методического объединения по образованию в области природообустройства и водопользования. – Москва: Изд-во ФГБОУ ВПО «РГАУ им. К.А. Тимирязева», 2015. Вып. 7. – С. 144–150.

4. Наумов, В.А. Материалы инженерно-гидрометеорологических изысканий в бассейне реки Преголи. Среднегодовые расходы до 1985 / В.А. Наумов, Л.В. Маркова // Вестник науки и образования Северо-Запада России: электронный журнал, 2015. – Т. 1, № 2. – С. 73–83. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2015/10/2015-№2-Наумов.pdf>.

5. Наумов, В.А. Материалы инженерно-гидрометеорологических изысканий в бассейне реки Преголи. Внутригодовое распределение стока / В.А. Наумов, Л.В. Маркова // Вестник науки и образования Северо-Запада России: электронный журнал, 2015. – Т. 1, № 4. – С. 47–55. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2015/11/2015-№4-Наумов.pdf>.

6. Вода России – Днепр [Электронный ресурс]. URL: <http://water-rf.ru/> (дата обращения: 01.10.2016).

7. UNESCO. International Hydrological Programme [Электронный ресурс]. URL: <http://webworld.unesco.org/water/> (дата обращения: 01.10.2016).

8. Свод правил СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Одобрен для применения в качестве нормативного документа Постановлением Госстроя России № 218 от 26 декабря 2003 г.

## DETERMINATION OF HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE DNIEPER RIVER AT THE SMOLENSK CITY

Sysoeva P.S., student,  
polinasysoeva2015@mail.ru  
Kaliningrad State Technical University

The article is devoted to analysis of the hydrological characteristics of the Dnieper river at the site of the Smolensk city during the period from 1945 to 1974. It is shown that the duration of a sufficient number of observations for calculations.

*riv. Dnepr, gauging stations, water consumption, a number of observations, flow rate*