

УДК 556.461.25: 551.445.75

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ СТОКА В НИЗОВЬЕ Р. ВОЛГА

Канд. геогр. наук В.В. Голубцов
Канд. техн. наук В.И. Ли

Рассматривается вопрос определения потерь в нижнем течении р. Волга и возможности их расчета и моделирования при исследовании водного баланса Каспийского моря. Получено уравнение для определения суммарных потерь в низовье реки. Приведены результаты расчета годовых потерь в пойме и дельте Волги за 1901...2000 гг.

Потери воды в низовье р. Волга являются необходимым элементом водного баланса Каспийского моря. Они состоят из потерь воды при перемещении стока по руслу реки на участке длиной 430 км от г. Волгограда до с. Верхнее Лебяжье и потерь воды в дельте Волги [2]. Большинство расчетных выражений для определения величины потерь на указанном участке и в дельте реки основаны на логических построениях и прикидочных расчетах. Наиболее обоснованными являются расчеты ежегодных потерь в низовье р. Волга, основанные на определении площадей увлажненных и покрытых водой поверхностей поймы и дельты в различные годы и испарения с водной поверхности и водной растительности с учетом выпавших атмосферных осадков. Такая работа была выполнена в Государственном гидрологическом институте (ГГИ – г. Санкт Петербург) Шикломановым И.А. и Кожевниковым В.П., в которой впервые были определены потери в низовьях р. Волга за 1936...1970 гг. [8]. Значительно позже аналогичная работа была выполнена Голубевым В.С. и Цыценко К.В. за 1952...1990 гг. [5]. Сведения о потерях в низовье р. Волга (в пойме и дельте) в работах указанных авторов приведены за отдельные периоды. Сравнение результатов за период 1941...1960 гг. показали, что данные, полученные Голубевым В.С. и Цыценко К.В., в среднем для поймы на 17 %, а для дельты на 10 % ниже, чем в работе Шикломанова И.А. и Кожевникова В.П. Это позволило восстановить характеристики потерь в пойме и дельте, полученные по методике Голубева В. С. и Цыценко К. В. за 1936...1950 гг., 1936...1949 гг. и 1941...1950 гг. (табл. 1, 2). При определении потерь в низовье Волги в указанных работах были использованы результаты непосредственных наблюдений за испарением в пойме и дельте реки. Эти данные были использованы нами для оценки параметров модели изменения стока в низовье р. Волга.

Таблица 1

Характеристики потерь в пойме р. Волга на участке
г. Волгоград – с. Верхнее Лебяжье

Период	р. Волга – г. Волгоград		Потери в пойме, км ³		Ошибка, км ³
	сток, км ³	C_v – месячных значений	Голубев, Цыценко	рассчитанные	
1936...1950	230	1,02	(2,9)	3,1	0,2
1936...1940	178	1,13	(3,1)	2,6	-0,5
1941...1950	256	0,97	(2,8)	3,4	0,6
1951...1960	241	0,80	3,0	2,8	-0,2
1961...1970	238	0,65	2,4	2,6	0,2
1971...1980	226	0,56	2,8	2,3	-0,5
1981...1990	262	0,51	2,6	2,6	0
1936...1990	239	0,74	2,8	2,7	-0,04

Таблица 2

Характеристики потерь в дельте р. Волга

Период	Площадь дельты, 10 ³ км ²	р. Волга – г. Волгоград		Потери в дельте, км ³		Ошибка, км ³
		сток, км ³	C_v – месячных значений	Голубев, Цыценко	рассчитанные	
1936...1950	14,9	230	1,02	(10,4)	10,5	0,1
1936...1940	13,7	178	1,13	(10,0)	8,4	-1,6
1941...1950	15,5	256	0,97	(10,4)	11,6	1,2
1951...1960	16,4	241	0,80	9,7	9,9	0,2
1961...1970	16,7	238	0,65	9,2	8,8	-0,4
1971...1980	17,1	226	0,56	9,7	8,1	-1,6
1981...1990	15,7	262	0,51	7,8	8,3	0,5
1935...1990	16,0	239	0,74	9,5	9,2	-0,2

Проведенные исследования показали, что основными факторами, определяющими изменение стока в пойме реки, являются: объем воды реки Волги в створе г. Волгоград и характеристика неравномерности его распределения внутри года. В качестве характеристики неравномерности распределения стока внутри года использован коэффициент вариации C_v месячных значений стока [1]. Основными факторами, определяющими изменение стока в дельте, являются: ее площадь, зависящая от уровня моря, объем воды и коэффициент вариации C_v месячного стока за отдельные годы в створе р. Волга – г. Волгоград.

При разработке модели расчета изменения стока в низовье Волги, в первую очередь, необходимо было установить зависимость площади дельты от уровня Каспийского моря в пределах всего диапазона ее изменения. Для решения этой задачи мы использовали приведенные в [5, 7] сведения о размерах дельты р. Волга, а также ее схему с историческими границами морского края при различных уровнях и в различные годы [3]. Несмотря на значительные различия в оценке границ и размеров дельты, удалось установить зависимость ее площади от уровня моря (рис. 1).

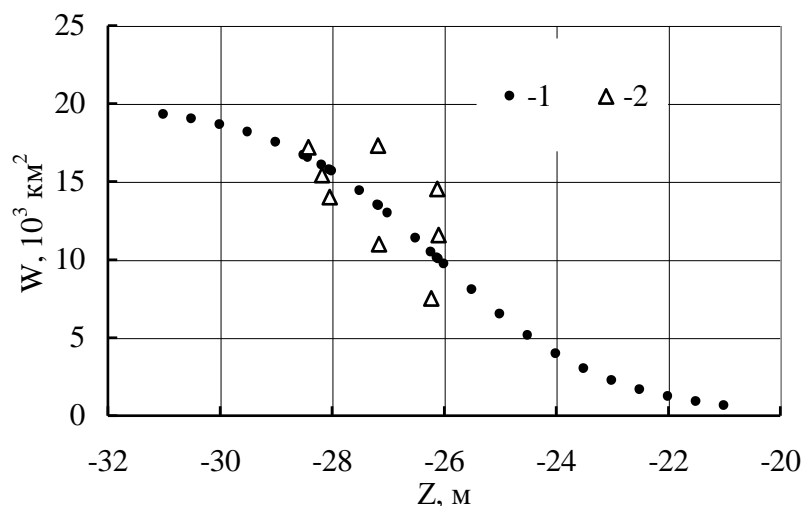


Рис.1. Изменение площади дельты р. Волга в зависимости от уровня Каспийского моря. 1 – рассчитанные значения площади дельты; 2 – установленные значения площади дельты.

Эта зависимость имеет вид:

$$W = \frac{20}{1 + \exp[0,67(Z + 35) - 5,97]}, \quad (1)$$

где W – площадь дельты р. Волга, 10^3 км^2 ; Z – уровень моря, м.

В качестве характеристики поступления воды на пойму и к вершине дельты р. Волга использованы данные о стоке у г. Волгоград. Неравномерность этого стока внутри года характеризовалась коэффициентом вариации его месячных значений. Все рассмотренные характеристики приведены в табл. 1 и 2.

Необходимо отметить, что потери в дельте, определенные путем расчета испарения с ее увлажненных и покрытых водой поверхностей (с учетом выпавших атмосферных осадков), не идентичны изменению годового стока в дельте. Они в значительной мере зависят от водности предшествующих лет и периодов. Это хорошо видно при сопоставлении рассчитанных величин потерь и изменения стока в дельте за отдельные годы [6, 7]. При наступлении маловодного года после многоводных лет или периодов они выше, а при наступлении многоводного года после маловодных лет или периодов они несколько ниже по сравнению с величиной изменения стока в дельте. В первом случае увеличение потерь по сравнению с изменением стока в дельте происходит за счет большей площади испаряющей поверхности, сформировавшейся в предшествующие многоводные годы. Во втором случае уменьшение потерь по сравнению с изменением стока в дельте обуславливается отсутствием затрат стока на заполнение освободившихся в предшествующие маловодные годы емкостей понижения рельефа и пополнение запасов грунтовых вод в дельте. Потери в дельте, определенные путем расчета испарения (с учетом выпавших атмосферных осадков) и изменения стока в пределах вершины морской границы дельты в среднем, например за отдельные десятилетия, по-видимому, должны совпадать.

Проведенные исследования [4, 5, 6, 8] показали, что в начале 60-х годов прошлого века, после ввода в эксплуатацию Волжской ГЭС потери стока в низовье р. Волга значительно уменьшились. Следует полагать, что это в основном связано с изменением внутригодового распределения стока. По сравнению с естественным режимом р. Волга распределение стока внутри года в условиях его значительного регулирования стало более равномерным. Это привело к уменьшению потерь и изменению стока за счет сокращения площадей затопления поймы и дельты. Следует полагать, что в этих условиях изменение стока в пойме и дельте Волги прямо пропорционально величине стока и обратно пропорционально изменению его месячных значений у г. Волгоград. Кроме этого изменение стока в дельте прямо пропорционально ее площади, зависящей от уровня моря. Математические выражения для определения изменений стока на указанном выше участке поймы и в дельте р. Волга имеют вид:

$$\Delta V_{II} = \frac{0,02 V_E}{2,5 - C_v} \quad (2)$$

и

$$\Delta V_D = \frac{0,003 W V_E}{2 - C_v}, \quad (3)$$

где ΔV_{II} – изменение стока в пойме р. Волга на участке г. Волгоград – с. Верхнее Лебяжье, км³/год; ΔV_D – изменение стока в дельте р. Волга, км³/год; W – площадь дельты, 10³ км²; V_E – объем годового стока р. Волга у г. Волгоград, км³/год; C_v – коэффициент вариации месячного стока р. Волга у г. Волгоград за отдельные годы.

Подставив в выражение (3) значение W из уравнения (1), получим:

$$\Delta V_D = \frac{0,06 V_E}{(2 - C_v) \{1 + \exp[0,67(Z + 35) - 5,97]\}}. \quad (4)$$

Сток из дельты р. Волга в Каспийское море может быть определен по выражению:

$$V_D = V_E - \Delta V_{II} - \Delta V_D, \quad (5)$$

где V_D – сток из дельты р. Волга в Каспийское море, км³/год.

В таблице 3 приведены результаты расчета с помощью выражений (2) и (4) изменения стока в пойме на участке г. Волгоград – с. Верхнее Лебяжье и дельте р. Волга за отдельные годы. На хронологическом графике (рис. 2) приведены результаты определения изменений стока на участке г. Волгоград – с. Верхнее Лебяжье (нижняя линия) и в дельте (средняя линия) р. Волга за отдельные годы. На этом же рисунке показана и суммарная величина годовых изменений стока (верхняя линия) в низовье р. Волга. Эти изменения также как и потери [4 – 8], отражают, начиная с 60-х годов прошлого века, уменьшение затрат воды в пойме и дельте реки.

Таблица 3

Определение изменений стока в низовье р. Волга

Год	Уровень моря, м	Площадь дельты, 10 ³ км ²	р. Волга – г. Волгоград		Изменение стока, км ³		
			сток, км ³	C_v	пойма	дельта	Σ
1901	-25,80	9,03	237	1,26	3,82	8,68	12,5
1902	-25,94	9,50	283	1,06	3,93	8,58	12,5
1903	-25,89	9,33	274	1,19	4,18	9,47	13,7
1904	-25,78	8,97	223	0,95	2,88	5,71	8,59
1905	-25,94	9,50	269	0,97	3,52	7,44	11,0
1906	-25,88	9,30	250	1,06	3,47	7,42	10,9
1907	-25,92	9,43	205	1,07	2,87	6,24	9,10
1908	-26,02	9,77	267	1,18	4,05	9,54	13,6

Год	Уровень моря, м	Площадь дельты, 10 ³ км ²	р. Волга – г. Волгоград		Изменение стока, км ³		
			сток, км ³	C _v	пойма	дельта	Σ
1909	-25,92	9,43	260	1,09	3,69	8,09	11,8
1910	-25,98	9,63	177	1,00	2,36	5,12	7,48
1911	-26,31	10,7	226	1,06	3,14	7,74	10,9
1912	-26,32	10,8	252	1,15	3,73	9,58	13,3
1913	-26,38	11,0	255	0,92	3,23	7,77	11,0
1914	-26,44	11,2	305	1,14	4,49	11,9	16,4
1915	-26,20	10,4	296	1,08	4,17	10,0	14,2
1916	-26,01	9,93	318	0,94	4,08	8,94	13,0
1917	-25,92	9,43	290	1,15	4,30	9,65	14,0
1918	-26,00	9,70	263	0,86	3,21	6,71	9,92
1919	-26,00	9,70	258	1,20	3,97	9,38	13,4
1920	-26,02	9,77	210	1,32	3,56	9,05	12,6
1921	-26,26	10,6	163	0,98	2,14	5,07	7,21
1922	-26,50	11,4	243	1,09	3,45	9,11	12,6
1923	-26,49	11,3	293	1,05	4,04	10,5	14,5
1924	-26,52	11,4	263	0,94	3,63	9,49	13,1
1925	-26,65	11,9	257	0,83	3,08	7,81	10,9
1926	-26,68	12,0	390	0,90	4,88	12,7	17,6
1927	-26,41	11,1	334	0,95	4,31	10,6	14,9
1928	-26,32	10,8	352	0,76	4,05	9,17	13,2
1929	-26,02	9,77	308	1,10	4,40	10,0	14,4
1930	-26,06	9,90	226	0,75	2,58	5,37	7,95
1931	-26,23	10,5	237	1,07	3,31	8,00	11,3
1932	-26,32	10,8	270	1,20	4,15	10,9	15,1
1933	-26,22	10,4	208	0,87	2,55	5,76	8,32
1934	-26,23	10,5	201	1,12	2,91	7,17	10,1
1935	-26,54	11,5	210	0,76	2,41	5,84	8,26
1936	-26,74	12,1	184	1,20	2,83	8,38	11,2
1937	-26,95	12,8	161	0,90	2,01	5,62	7,64
1938	-27,29	13,8	173	1,20	2,66	9,2	11,9
1939	-27,57	14,6	180	1,21	2,79	9,97	12,8
1940	-27,82	15,2	192	1,13	2,80	10,1	12,9
1941	-27,93	15,5	243	1,15	3,60	13,3	16,9
1942	-27,92	15,5	271	1,05	3,74	13,2	17,0
1943	-27,80	15,2	241	0,93	3,07	10,3	13,3
1944	-27,86	15,3	251	1,02	3,40	11,8	15,2
1945	-27,96	15,6	206	0,87	2,53	8,51	11,0
1946	-28,06	15,8	277	1,04	3,79	13,7	17,5
1947	-28,00	15,6	329	1,03	4,48	15,9	20,4
1948	-27,80	15,2	286	0,96	3,71	12,5	16,2
1949	-27,91	15,4	222	0,95	2,86	9,79	12,7
1950	-28,02	15,7	239	0,74	2,72	8,93	11,6
1951	-28,19	16,1	236	0,94	3,03	10,7	13,8

Год	Уровень моря, м	Площадь дельты, 10 ³ км ²	р. Волга – г. Волгоград		Изменение стока, км ³		
			сток, км ³	C _v	пойма	дельта	Σ
1952	-28,26	16,2	234	0,77	2,71	9,25	12,0
1953	-28,32	16,3	256	0,93	3,26	11,7	15,0
1954	-28,34	16,4	200	0,73	2,26	7,74	10,0
1955	-28,44	16,6	276	1,04	3,78	14,3	18,1
1956	-28,44	16,6	211	0,80	2,48	8,74	11,2
1957	-28,50	16,7	268	0,81	3,17	11,3	14,4
1958	-28,36	16,4	291	0,69	3,22	10,9	14,2
1959	-28,28	16,3	222	0,65	2,40	8,02	10,4
1960	-28,30	16,3	213	0,59	2,23	7,38	9,61
1961	-28,43	16,6	240	0,79	2,81	9,85	12,7
1962	-28,56	16,8	244	0,55	2,50	8,48	11,0
1963	-28,66	17,0	262	0,64	2,82	9,81	12,6
1964	-28,49	16,7	216	0,49	2,15	7,15	9,30
1965	-28,50	16,7	223	0,65	2,41	8,27	10,7
1966	-28,48	16,7	294	0,80	3,46	12,2	15,7
1967	-28,34	16,4	180	0,55	1,85	6,10	7,94
1968	-28,50	16,7	224	0,76	2,57	9,04	11,6
1969	-28,57	16,8	221	0,58	2,30	7,85	10,2
1970	-28,48	16,6	243	0,67	2,98	10,2	13,2
1971	-28,46	16,6	231	0,64	2,48	8,46	10,9
1972	-28,57	16,8	217	0,67	2,37	8,23	10,6
1973	-28,70	17,0	173	0,73	1,95	6,96	8,92
1974	-28,75	17,1	261	0,68	2,87	10,2	13,0
1975	-28,66	17,0	167	0,42	1,61	5,38	6,99
1976	-28,96	17,4	185	0,39	1,75	6,02	7,77
1977	-29,06	17,6	185	0,56	1,91	6,78	8,69
1978	-29,11	17,7	271	0,43	2,62	9,15	11,8
1979	-28,90	17,4	319	0,65	3,45	12,3	15,8
1980	-28,59	16,8	247	0,38	2,33	7,71	10,0
1981	-28,52	16,7	293	0,57	3,04	10,3	13,3
1982	-28,34	16,4	224	0,47	2,21	7,20	9,40
1983	-28,24	16,2	236	0,40	2,25	7,30	9,55
1984	-28,16	16,0	224	0,42	2,15	6,81	8,96
1985	-28,12	15,9	290	0,54	2,96	9,54	12,5
1986	-27,98	15,6	291	0,50	2,91	9,08	12,0
1987	-27,92	15,5	276	0,47	2,72	8,37	11,1
1988	-27,77	15,1	230	0,55	2,36	7,19	9,55
1989	-27,63	14,7	221	0,60	2,33	6,98	9,31
1990	-27,78	15,1	333	0,54	3,40	9,71	13,1
1991	-27,42	14,2	319	0,70	3,54	10,4	14,0
1992	-27,13	13,4	251	0,59	2,63	7,13	9,76
1993	-27,02	13,0	281	0,47	2,77	7,17	9,94
1994	-26,94	12,8	336	0,49	3,34	8,53	11,9

Год	Уровень моря, м	Площадь дельты, 10 ³ км ²	р. Волга – г. Волгоград		Изменение стока, км ³		
			сток, км ³	C_v	пойма	дельта	Σ
1995	-26,70	12,0	278	0,69	3,07	7,65	10,7
1996	-26,72	12,1	177	0,37	1,66	3,94	5,60
1997	-27,00	13,0	242	0,68	2,66	7,13	9,79
1998	-27,08	13,2	283	0,52	2,86	7,57	10,4
1999	-27,07	13,2	289	0,54	2,95	7,82	10,8
2000	-27,10	13,3	244	0,60	2,57	6,93	9,50

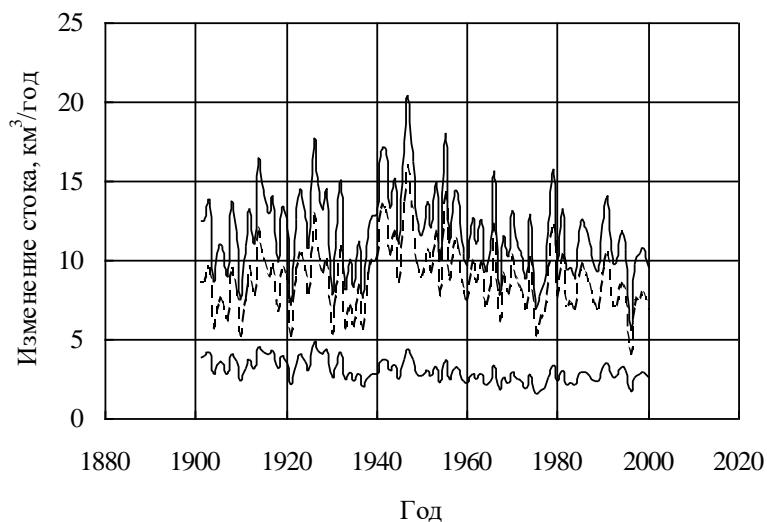


Рис.2. Хронологический график изменения стока в низовье р. Волга.

Для определения параметров уравнений (2)...(4) использовались сведения о потерях в пойме и дельте р. Волга за отдельные периоды [5] и приведенные в табл. 1 и 2. В этих же таблицах приведены значения отклонений изменений стока в пойме и дельте реки от значений потерь, определенных авторами работы [5]. Эта оценка показывает, что значения изменения стока в пойме и дельте, рассчитанные по уравнениям (2) и (4), в среднем за отдельные периоды характеризуются сравнительно небольшими отклонениями от величин, полученных Голубевым В.С. и Цыценко К.В. [5]. Средние многолетние характеристики изменения стока в пойме и дельте практически совпадают со значениями, опубликованными в этой работе. Годовые значения этих изменений лучше согласуются с величинами изменения стока в дельте Волги, приведенными в работах [6, 7]. Полученные выражения могут быть использованы при расчете и моделировании поступления стока р. Волга в Каспийское море и прогнозировании изменения его уровня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Актуальные проблемы гидрометеорологии озера Балхаш и Прибалхашья / Под ред. Скоцеляса И.И. – СПб.: Гидрометеоздат, 1995. – 269 с.
2. Байдин С.С., Линберг Ф.Н., Самойлов Н.В. Гидрология дельты Волги. – Л.: Гидрометеоздат, 1956. – 331 с.
3. Байдин С.С. Сток и уровни дельты Волги. – Л.: Гидрометеоздат, 1962. – 335 с.
4. Байдин С.С. О заливаемости дельты Волги в условиях зарегулированного стока // Труды ГОИН. – 1967. – Вып. 89. – С. 67 – 71.
5. Голубев В.С., Цыценко К.В. Структура и динамика потерь речного стока в низовьях Волги // Метеорология и гидрология. – 1995. – №8. – С. 85 – 93.
6. Рыбак В.С. Потери стока воды в Волго-Ахтубинской пойме и в дельте Волги // Труды ГОИН. – 1973. – Вып. 116. – С. 82 – 96.
7. Устьевая область Волги: гидролого-морфологические процессы, режим загрязняющих веществ и влияние колебаний уровня Каспийского моря. Отв. редакторы Полонский В.Ф., Михайлов В.Н., Кирьянов С.В. // ГОИН, ГЕОС – 1998. – 278 с.
8. Шикломанов И.А., Кожевников В.П. Потери стока в Волго-Ахтубинской пойме и дельте и их изменение под влиянием хозяйственной деятельности // Труды ГТИ. – 1974. – Вып. 221. – С. 3 – 46.

Научно-производственный Гидрометцентр РГП «Казгидромет»

ВОЛГА ҖЗЕНІНІЎ ТҖМЕНГІ САҖАСЫНДАҖЫ АҖЫННЫЎ ҖЗГЕРУІН МОДЕЛДЕУ

Геогр. Җылымд. канд.

В.В. Голубцов

Техн. Җылымд. канд.

В.И. Ли

Волга ҖзенініЎ тҖменгі аҖысындаҖы шыҖынды аныҖтау ж.,не Каспий теҖізініЎ су балансын зерттеген кезде оларды есептеу ж.,не моделдеу мҖмкінділігі жарастырылады. ҖзенніЎ тҖменгі саҖасында жинаҖталҖан шыҖынды аныҖтау Җшін теҖдеу алынҖан. 1901-2001 жж. аралыҖында Волга ҖзенініЎ жайылмасы ж.,не атырауында жылдыҖ шыҖынды есептеудіЎ н.,тижелері келтірілген.