

Ю.П. Ільїн

Регресійні залежності середньорічних показників гідрометеорологічних умов чорноморського узбережжя України

Установлено, що багаторічні зміни гідрометеорологічного режиму чорноморської прибережної смуги України за 1945-2009 рр. характеризуються значущими лінійними трендами (позитивними для температур повітря й води, річних сум опадів і середнього рівня моря; негативними – для швидкості вітру й солоності морської води). Для середньорічних величин відхилень від трендів отримано значущі регресійні залежності: температури води від температури повітря; солоності від рівня моря; рівня моря від сумарних витрат річок, опадів і температури води. Перевірку отриманих регресійних рівнянь виконано на незалежних даних за 2010-2013 рр.

Ключові слова: швидкість вітру, температура повітря й води, атмосферні опади, рівень моря, солоність морської води, лінійні тренди, регресійний аналіз.

Y.P. Ilyin

Regression relations for annual indices of the Ukrainian Black Sea coast hydro-meteorological conditions

It is stated that long-term changes of the Ukrainian Black Sea coastal zone hydro-meteorological conditions for 1945-2009 years are characterized by significant linear trends (positive for air and water temperatures, annual precipitation sums and sea level; negative for wind speed and water salinity). For the annual deviations from trends, significant regression dependencies were obtained: water temperature on air temperature; water salinity on sea level; sea level on summary rivers discharge, precipitations and water temperature. Testing of regression equations was performed by means independent data for 2010-2013 years.

Keywords: wind velocity, air temperature, atmospheric precipitations, sea level, marine water temperature and salinity, linear trends, regression analysis.

УДК 556.282.2

В.Г. СИМОВ

РЕЧНОЙ СТОК ВОДЫ В ЧЕРНОЕ МОРЕ

Приведены результаты расчетов среднемесячного и годового притока речных вод в Черное море за 1921-2012 гг., полученные с помощью эмпирических связей с суммарным стоком рек Дуная и Днепра. Исследованы межгодовые и внутригодовые изменения речного стока в море. Определены тренды изменения годового и сезонного стока, а также уровня моря. Подтверждено совместное воздействие климата и антропогенного фактора на изменение речного стока в Черное море.

Ключевые слова: сток воды, межгодовая и сезонная изменчивость, тренды, уровень моря.

Речной сток воды в Черное море является важнейшей режимобразующей составляющей водного баланса [1, 2]. Поэтому определению его величины и многолетней изменчивости с давних пор уделялось много внимания. Детальная оценка стока в море за 1923-85 гг. впервые опубликована в [1]. Однако, как в указанной работе, так и в публикациях других отечественных и зарубежных авторов, результаты которых обобщены в [3], оценка величины годового притока речных вод в море и тенденции его многолетних изменений сильно отличаются. Так, например, норма годового притока воды в море по разным оценкам изменяется от 287 до 480 км³ и требует уточнения. Однако использовать метод, разработанный Э.Н. Альтманом [1], оказалось невозможно, т.к. прекратилось поступление

данных о стоке воды многих притоков Черного моря, протекающих по территории смежных стран. Поэтому для уточнения данных с учетом наблюдений по 2012 г. использован косвенный метод [2], основанный на привлечении эмпирических зависимостей между суммарным стоком рек Дуная и Днепра с общим притоком речных вод в море. В дополнение к указанному методу здесь приведены также уравнения связи (табл.1) для месячных величин стока в море. Эти зависимости могут быть использованы для расчетов за отдельные месяцы при наличии сведений о стоке рек Дуная и Днепра. Высокие коэффициенты аппроксимации зависимостей показывают также возможность использовать упрощенный способ определения месячных величин притока в море путем умножения величины годового сто-

ка на долю месячного. Изложен в работе также способ уточнения величины суммарного стока с турецкого побережья.

Таблица 1

Уравнения корреляционных зависимостей годового и месячного стока воды в море (V_m , км³) от суммарного стока рек Дуная и Днестра (V_{dd} , км³) и характеристики их достоверности

Период	Уравнение связи	r	R ²
Год	$V_m = 1,18 V_{dd} + 37,8$	0,99	0,99
Январь	$V_{m1} = 1,15 V_{dd1} + 2,59$	0,99	0,98
Февраль	$V_{m2} = 1,22 V_{dd2} + 2,57$	0,98	0,96
Март	$V_{m3} = 1,2 V_{dd3} + 4,35$	0,98	0,96
Апрель	$V_{m4} = 1,12 V_{dd4} + 7,36$	0,97	0,94
Май	$V_{m5} = 1,111 V_{dd5} + 7,68$	0,99	0,98
Июнь	$V_{m6} = 1,44 V_{dd6} + 5,12$	0,99	0,98
Июль	$V_{m7} = 1,11 V_{dd7} + 4,01$	0,99	0,99
Август	$V_{m8} = 1,08 V_{dd8} + 3,35$	0,99	0,98
Сентябрь	$V_{m9} = 1,1 V_{dd9} + 2,87$	0,99	0,98
Октябрь	$V_{m10} = 1,138 V_{dd10} + 3,14$	0,97	0,93
Ноябрь	$V_{m11} = 1,16 V_{dd11} + 2,39$	0,98	0,97
Декабрь	$V_{m12} = 1,12 V_{dd12} + 3,55$	0,98	0,97

Данные измерений стока рек с этой части побережья за 1960-1988 гг., полученные в результате сотрудничества с турецкой стороной, показали, что 22,6 км³/год приносят в море 6 наиболее крупных рек (Сакарья, Бююк-Мелен, Енидже-Ирмак, Кызыл-Ирмак, Ешиль-Ирмак, Мелет-Ирмак). Еще одна река, Деврекияны, по своей длине также может быть отнесена к крупным, но ее годовой сток составляет всего 0,22 км³, поэтому она включена в список малых рек. Кроме перечисленных рек, с турецкого побережья в море впадает еще более 100 малых (длиной 10 и более км) не пересыхающих рек, которые не все охвачены измерениями расходов воды. Для приближенной оценки годового стока не изученных малых рек использовался метод [5], применяемый в гидрологии суши для однородных по природным условиям районов. Турецкое побережье по густоте речной сети было разделено рекой Ешиль-Ирмак на два района: восточный и западный. Метод [5] основан на существовании прямой зависимости $V = KL$ между годовым стоком реки (V) и ее длиной (L). Определив длину малых рек по крупномасштабной карте, рассчитали коэффициенты $K = V/L$ по рекам, на которых

имеются наблюдения за речным стоком, а затем среднее значение «К» по указанным выше районам (табл. 2).

Таблица 2

Удельные коэффициенты годового стока (K , км³/км) малых рек черноморского побережья Турции

Река	Сток воды, км ³ /год	Длина реки, км	К
Восточный район			
Фиргуна	0,9	55	0,016
Лжедере	0,9	55	0,016
Дегирмен	0,35	50	0,007
Фол	0,12	35	0,004
Харшитсай	0,82	50	0,016
Аксу	0,43	55	0,008
Средний по району			0,011
Западный район			
Карасу	0,13	60	0,002
Деврекияны	0,22	110	0,002
Средний по району			0,002

Используя средние районные значения коэффициента, по формуле $V = KL$ определили годовую сток каждой малой реки, сумма которой оказалась равной 23 км³. Суммарный сток больших и малых рек, впадающих в Черное море с территории Турции, оказался равным 45,6 км³/год, что на 19,6 км³ больше, чем в [1].

С помощью метода, изложенного в [2], рассчитан годовая сток в море за 1921, 1922 и 1986-2012 гг. В эти результаты, а также в данные за 1923-1985 гг. прибавлялась поправка, равная 19,6 км³/год. Ее распределение по месяцам производилось также упрощенным способом с использованием доли месячного стока от годового, определенной по имеющимся в нашем распоряжении фактическим данным по рекам Сакарья (1978, 1984 гг.), Кызыл-Ирмак (1978 г.), Ешиль-Ирмак (1978 г.), Енидже-Ирмак (1978 г.).

Результаты расчетов¹ месячного и годового стока воды в Черное море за 1921-2012 гг. приведены в табл. 3. Они могут использоваться в балансовых расчетах.

Данные табл. 3 показали, что за рассмотренный период суммарный годовая речная сток воды в Черное море изменялся от 230 (1921 г.) до 529 км³ (1941 г.) при среднем значении 355 км³. Коэффициент вариации годовых величин 0,15, что при длительности наблюдений, равной 92 годам,

¹ Программа расчета на ПЭВМ, разработана совместно с Т.Ю. Тимошенко.

Речной сток воды в Черное море, км³

Год	Месяц												За год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1921	18,5	20,5	20,1	27,2	34,7	27	26,3	12,9	10,3	8,5	11,2	12,4	230
1922	20,7	18,4	36,2	57,1	57,1	38,6	23,9	16	15,6	26,1	34,7	30,3	375
1923	28,5	27,6	47,2	55,9	47,8	33,6	28,1	18,1	14,0	14,9	17,0	29,0	362
1924	25,8	27,6	33,8	56,2	64,4	45,7	34,6	23,9	23,8	21,1	15,5	16,6	389
1925	12,8	14,2	27,7	30,1	35,2	28,7	25,4	21,2	22,0	21,1	22,3	29,9	291
1926	36,1	36,7	36,4	43,6	52,2	36,0	36,6	41,3	32,8	19,9	26,1	27,7	425
1927	24,3	24,3	30,1	47,0	46,7	35,2	24,9	18,7	21,3	22,6	19,1	23,9	338
1928	26,7	30,2	26,2	41,4	53,6	40,3	26,0	14,6	13,6	18,3	18,1	23,1	332
1929	22,0	15,6	24,5	50,7	64,2	43,7	29,8	18,5	16,8	13,9	18,1	20,4	338
1930	16,9	20,8	22,4	35,6	36,5	30,0	18,6	15,3	16,4	17,9	25,5	28,6	285
1931	25,5	25,4	36,5	47,2	76,2	40,8	24,2	18,2	19,2	24,5	27,7	25,9	391
1932	26,7	27,4	32,3	68,2	75,8	45,8	29,8	23,4	14,8	13,9	19,5	20,4	398
1933	15,4	18,8	30,1	41,5	47,6	43,8	45,0	30,2	23,4	27,9	33,8	31,1	389
1934	31,1	29,1	43,2	51,6	33,8	22,7	24,4	22,1	21,2	18,3	19,5	21,9	339
1935	19,9	20,8	40,6	48,5	51,7	35,7	25,5	17,2	13,2	13,1	16,4	20,0	323
1936	25,6	30,8	39,2	45,0	38,5	31,9	28,8	21,3	17,7	24,4	26,5	21,8	352
1937	17,2	25,4	46,9	62,7	57,5	41,1	29,2	25,8	26,5	29,1	26,4	33,1	421
1938	40,9	38,5	36,8	51,2	47,3	39,8	25,4	18,1	22,3	16,0	15,5	16,5	368
1939	20,6	23,3	28,1	40,6	38,4	35,0	30,9	18,9	16,1	22,0	28,0	31,0	333
1940	32,8	29,8	44,1	69,5	69,2	50,1	46,4	31,3	24,2	28,8	28,5	34,8	490
1941	36,7	44,4	53,2	61,5	70,8	55,9	41,7	30,7	30,6	30,1	37,8	35,1	529
1942	32,0	28,4	42,4	70,2	84,2	52,4	34,8	21,7	15,8	13,8	17,1	16,1	429
1943	15,4	21,9	23,2	30,0	32,2	28,6	26,3	18,8	13,1	12,9	12,7	22,0	257
1944	18,2	25,0	38,9	43,6	56,2	42,4	33,7	25,7	16,8	22,4	28,3	34,1	385
1945	34,7	23,9	39,4	49,9	48,4	34,3	23,5	16,2	15,1	18,9	17,4	19,1	341
1946	22,5	25,6	35,7	41,4	40,0	24,7	19,8	14,7	11,0	11,5	15,0	24,3	286
1947	22,5	24,9	44,4	58,0	42,0	21,4	18,3	14,1	13,4	12,4	14,5	23,2	309
1948	33,4	39,6	39,6	42,0	41,2	36,3	39,3	31,5	19,2	15,6	15,6	14,2	368
1949	17,0	18,2	19,3	34,9	35,2	27,1	25,5	21,0	19,3	13,1	12,9	21,9	265
1950	22,2	22,0	39,4	35,4	32,1	18,7	14,7	12,4	10,6	14,5	18,3	26,0	266
1951	25,6	23,5	35,9	49,0	50,3	39,1	28,1	20,9	14,6	16,5	15,1	18,2	337
1952	18,4	21,6	27,2	43,9	45,7	28,9	20,4	12,6	11,8	15,7	25,1	35,1	306
1953	40,1	34,0	36,8	47,9	48,8	37,0	29,4	21,5	16,8	14,1	13,4	11,4	351
1954	11,9	13,7	27,7	40,3	44,7	40,2	33,0	24,6	15,4	17,6	17,5	20,8	307
1955	28,9	30,7	41,0	52,7	56,6	37,8	33,0	37,1	28,1	25,7	29,6	28,6	430
1956	31,2	34,4	38,7	53,0	60,0	46,1	37,6	23,3	19,3	17,5	22,3	23,3	407
1957	20,6	24,1	37,0	38,4	41,6	38,6	27,1	23,3	19,4	19,9	15,7	22,7	328
1958	23,1	25,2	43,3	52,5	66,6	42,7	28,5	19,7	17,8	18,3	22,7	22,3	383
1959	32,0	24,9	30,8	33,9	33,8	29,6	28,0	25,0	21,4	15,8	18,5	23,8	318
1960	26,1	32,7	38,2	37,5	32,0	29,2	23,4	23,7	18,0	19,5	24,0	32,9	337
1961	34,2	26,5	31,3	29,4	34,3	34,2	24,2	17,8	13,6	12,2	16,9	20,9	296
1962	24,2	24,9	36,2	50,1	52,3	39,7	30,7	23,8	16,8	15,2	15,2	25,5	355
1963	34,2	30,3	45,7	49,9	47,5	33,5	24,7	15,8	17,8	18,0	16,3	21,5	355
1964	17,8	17,6	25,0	39,7	36,6	26,3	22,0	16,4	15,8	19,2	29,1	32,8	298
1965	32,6	30,6	38,1	44,8	48,5	47,3	44,3	30,4	21,9	20,5	16,8	28,7	405
1966	33,4	34,6	50,4	52,5	47,4	35,6	31,2	30,6	30,7	17,8	21,6	33,1	419
1967	35,9	35,1	46,8	50,4	55,0	43,6	33,7	20,7	16,4	17,2	15,7	20,8	391
1968	29,9	33,5	41,3	38,9	33,4	23,5	18,6	19,9	22,6	27,3	20,3	24,6	334
1969	24,8	31,1	46,8	51,5	41,5	36,9	37,7	21,3	21,3	16,0	15,4	28,0	372

Год	Месяц												За год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1970	33,0	43,1	55,8	68,9	75,4	57,7	43,0	29,8	27,0	24,3	23,3	29,9	511
1971	30,1	33,6	36,2	44,3	41,4	27,7	25,5	16,2	14,7	15,0	16,5	25,0	326
1972	24,4	24,0	23,4	26,1	32,9	26,0	22,2	25,3	24,3	34,6	24,8	32,8	321
1973	20,1	24,7	31,6	40,5	42,0	31,4	26,6	18,1	14,1	17,8	18,6	21,6	307
1974	26,3	26,6	24,4	25,2	30,8	32,3	37,9	24,5	18,5	26,1	41,9	40,4	355
1975	42,2	29,8	29,9	41,8	46,7	43,2	43,5	29,2	23,5	20,2	17,8	21,1	389
1976	22,4	24,6	29,2	42,2	41,6	35,4	18,8	19,5	20,0	23,1	22,4	32,8	332
1977	28,6	41,7	51,6	46,2	45,7	28,4	22,8	22,8	22,8	22,1	19,2	27,4	379
1978	24,4	29,1	44,2	47,7	50,8	44,7	35,8	24,6	20,6	24,4	19,9	25,0	391
1979	33,5	44,1	47,5	58,0	52,1	31,1	31,4	23,8	18,5	17,9	23,9	33,0	415
1980	29,4	37,0	32,5	50,2	53,0	49,8	37,0	34,8	25,1	28,2	38,0	41,8	457
1981	40,7	35,9	51,4	60,3	50,8	33,7	25,8	22,9	19,0	22,5	33,5	39,8	436
1982	48,6	33,0	36,6	47,1	45,8	31,7	30,1	24,5	18,6	20,6	20,2	22,0	379
1983	30,9	30,8	32,4	42,0	36,2	24,9	23,2	17,9	14,5	15,0	16,1	16,3	300
1984	20,1	26,7	31,4	40,6	38,9	34,3	24,3	18,4	15,5	24,6	18,2	21,2	314
1985	20,8	27,5	38,3	44,4	41,5	35,7	29,9	20,2	20,0	16,9	19,7	25,9	341
1986	33	34,6	42	49,9	43	33,7	27,2	17,1	15,2	13,8	17	15	342
1987	22,7	29	33,6	41,7	46,6	45,4	30,3	21,6	17,9	18,2	17,8	27,1	352
1988	25	24,9	34,7	58	47,8	37,5	24	16,5	20,8	21,4	19,4	26,4	356
1989	23,2	17	28,4	30,2	35,3	30,9	28,8	21	23,9	24,1	21,2	21,5	306
1990	22,4	21,1	26,8	27	25,6	19,9	19,5	12,8	11,4	16,5	22	31,5	257
1991	27,2	22	23,9	24,5	34,6	42,4	35,5	39,3	17,7	17,3	26,3	30,8	342
1992	24,1	18,1	21,4	25,3	33,2	39,5	33,4	37,8	17,9	16,6	22	31,1	320
1993	22,8	20	20,5	41,7	34,3	17,4	14,9	17,5	19,4	21,7	27,8	27,6	286
1994	39,9	31,9	34,1	42	47	32,3	22,6	13	13,9	15	16,3	19,6	328
1995	21,8	26	36,8	41,6	44,7	37	32,9	17,1	24	21,2	20,6	23,8	348
1996	38,2	24,8	26,9	45,5	42,7	28,9	21,5	16,5	22,4	33,5	27,5	41,1	370
1997	35,7	25,6	30,1	35	43,9	28,9	28,5	37	23,8	23,4	23,4	30,3	366
1998	32	27,1	29,7	36,3	40,1	30,4	29,6	21,4	21,7	35,2	44,9	39,2	388
1999	32,8	30,5	54,4	56,2	58,5	42,6	36,3	27,1	22	20,7	21,1	31,3	434
2000	36,8	34	41,5	51,4	46,9	26	18,4	20	16	21,6	21,6	25,3	360
2001	27,1	26,7	34	45,1	41,6	29,5	31,1	21	23,6	27,5	19,9	24,5	352
2002	25,8	30,7	35,7	37,2	30,7	24,6	17,5	25	23,3	30,2	36,7	35,2	353
2003	37,3	31,7	32,3	34,3	27	19,6	14,2	13,5	12,7	18,5	23,9	20,7	286
2004	22,5	29,6	34,7	51,2	47,6	30,8	24,6	22,1	18	21,6	26,4	30,4	360
2005	27,6	24,5	39,3	53,8	53,6	42,3	37,7	35,1	35,8	29,6	20,6	29,9	430
2006	35,7	29,9	46,7	60,9	58,7	47,2	34,7	23,8	22,9	19,7	18,5	20	419
2007	23,5	28,4	37,3	32,5	23,6	20,9	17,1	14,4	19,9	22,1	29,8	37,2	307
2008	26,1	26,1	29,4	42,9	41,4	30,4	21,7	24,1	17,3	19,7	19	28,6	327
2009	25,8	34,6	41,5	45,7	34,9	25,2	33,7	21,7	17,4	17	24,5	25,5	348
2010	44,2	32,8	52	46,6	40,4	50	46,8	31,1	25,1	28,6	25,5	42,7	466
2011	45,8	35,4	32,6	31,6	26,5	22,5	21,2	22,3	14,4	23,3	15,7	15,2	300
2012	20,6	24	32,4	33	36,5	33,4	20,9	17,4	15,3	17,7	24,1	24,2	300
Средний	27,6	27,8	35,9	45	45,4	34,9	28,5	22,2	19,1	20,2	21,9	26,3	355
% от годового	7,7	7,8	10,1	12,7	12,9	9,9	8	6,2	5,4	5,7	6,2	7,4	100
Наибольший	48,6	44,4	55,8	70,2	84,2	57,7	46,7	41,3	35,8	35,2	44,9	42,6	529
Год	1982	1941	1970	1942	1942	1970	2010	1926	2005	1998	1998	2010	1941
Наименьший	11,9	13,7	19,3	24,5	23,6	17,4	14,2	12,4	10,3	8,5	11,2	11,4	230
Год	1954	1954	1949	1991	2007	1993	2003	1950	1921	1921	1921	1953	1921

обеспечивает определение средней многолетней величины (нормы) с ошибкой $\pm 1,6\%$.

Для подтверждения правильности расчета нормы стока с учетом цикличности его колебаний использован более строгий способ по [5]. При этом считается, что чем больше циклов будет учтено, тем точнее определение нормы. С помощью разностной интегральной кривой (рис. 1), на оси ординат которой отложены значения $\Sigma(K-1)$, где $K = \frac{V_i}{V_{cp}}$, обнаруживается три полных цикла: 1-й – 1931-54 гг., $V_{cp} = 355 \text{ км}^3/\text{год}$; 2-й – 1955-64 гг., $V_{cp} = 351 \text{ км}^3/\text{год}$; 3-й – 1965-95 гг., $V_{cp} = 358 \text{ км}^3/\text{год}$.

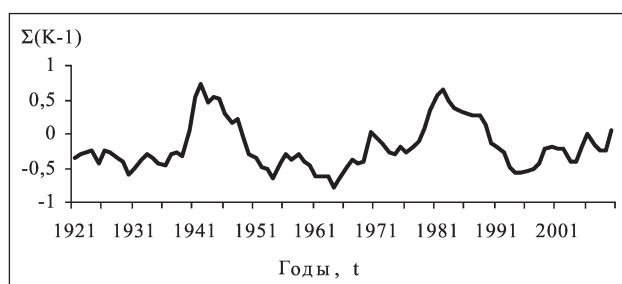


Рис. 1. Разностная интегральная кривая годового стока

Значения среднего стока каждого цикла близки между собой, а среднее из трех циклов совпадает со средней величиной за весь период наблюдений, равной $355 \text{ км}^3/\text{год}$, что в сравнении с [1] на 17 км^3 больше.

Доля стока р. Дунай в общем притоке – 58 %, Днепра – 12,9 %.

Для оценки изменений внутригодового распределения стока рассмотрено два периода (рис. 2): 1921-55 гг. и 1975-2012 гг.

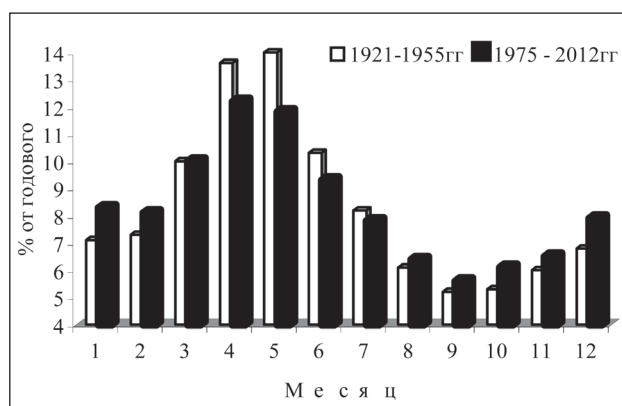


Рис. 2. Внутригодовое распределение речного стока в Черное море при естественном (1921-1955 гг.) и зарегулированном (1975-2012 гг.) режимах

Первый из них отражает близкие к естественным условия формирования речного стока в бассейне моря, когда безвозвратные изъятия стока из рек были незначительными. Второй период характеризует зарегулированный режим многих притоков моря: на Днестре, например, к 1975 г. завершилось строительство и заполнение каскада из 6 водохранилищ, а суммарные изъятия стока по [6, 7] и результатам наших исследований составляли в среднем около $13 \text{ км}^3/\text{год}$; на Дунае приблизительно к этому же времени закончилось активное освоение водных ресурсов реки, а изъятия стока по оценкам В.Н. Михайлова [8] достигли $13-15 \text{ км}^3/\text{год}$. Промежуточный период с 1956 по 1974 гг. является переходным для многих рек бассейна, в течение которого осуществлялось неупорядоченное регулирование и скачкообразные изъятия стока, связанные со строительством и вводом в строй новых водохранилищ, каналов и пр.

Рис. 2 показывает, что во втором периоде уменьшился сток за весну и лето (IV-VI), но возрос в остальное время года, особенно заметно в зимние месяцы (XII-II). Сходные выводы об особенностях современного внутригодового распределения стока воды малых и средних рек Украины приводятся в [9]. В ней показано, что под влиянием изменений климата Украины в 1989-2008 гг. уменьшилось снеговое питание и весенний сток рек, но возросла доля стока летне-осенней межени при неизменной величине зимнего стока. Последнее с нашими выводами не согласуется. По нашим данным как раз зимний сток возрос. Можно предположить, что указанные изменения стока вызваны совместным воздействием хозяйственных мероприятий и климата. Наглядным примером увеличения зимнего стока за счет искусственного регулирования внутригодового распределения является сток Днестра. Гидрограф стока Днестра претерпел существенные изменения, связанные с особенностями эксплуатации каскада днестровских водохранилищ. До 1956 г. на Днестре в течение марта-мая формировалось весеннее половодье, в течение которого проходило до 60 % годового стока, а в остальную часть года наблюдалась маловодная межень. Теперь же обычно до начала половодья (чаще всего с декабря предыдущего года до марта текущего) формируется искусственный паводок, как результат сработки запасов воды в водохранилищах для освобождения их емкостей под сток весеннего паводка. При этом сбрасывается в море до 40 % годового стока. Значительная часть стока весеннего половодья уходит на заполнение водохранилищ, запасы воды из которых затем расходуются

для выработки электроэнергии и поддержания более высоких расходов и уровней воды в летне-осеннюю межень. Аналогичное внутригодовое перераспределение стока производится и на других реках. Подтверждается мнение [10] и других авторов об усилении изменений стока рек при совместном воздействии водохозяйственной деятельности и глобальных изменениях климата.

Межгодовые изменения годового и сезонного стока за весь рассматриваемый период неоднозначны (рис. 3, 4).

Регрессионный анализ зависимостей изменения годового и летне-осеннего стока во времени за весь период (рис. 3) на адекватность уравнений линейной регрессии по критерию Фишера и значимость коэффициента регрессии по Стьюденту показал отсутствие значимого тренда. В то же время на уровне 95 %-ной вероятности четко определяется значимый отрицательный тренд изменений весенне-летнего (III-VI) стока с коэффициентом $-0,29 \text{ км}^3/\text{год}$ и положительный тренд с коэффициентом $0,19 \text{ км}^3/\text{год}$ для зимнего (XII-II) стока (рис. 4).

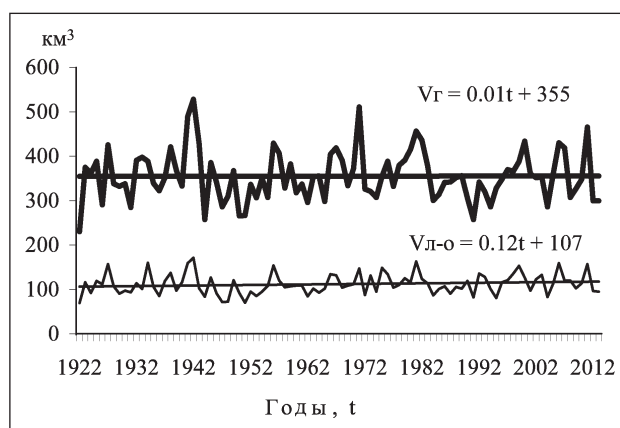


Рис. 3. Межгодовые изменения годового (V_g верхняя кривая) и летне-осеннего ($V_{л-о}$) стока

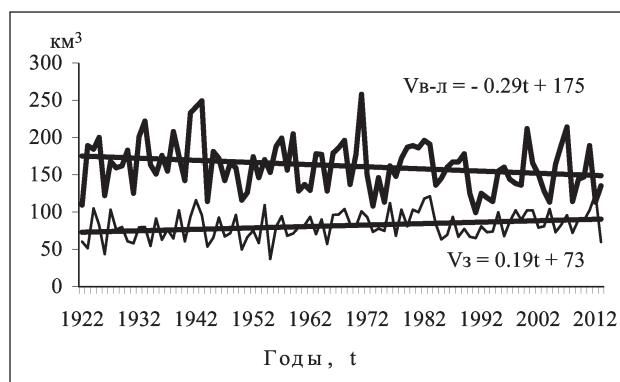


Рис. 4. Межгодовые изменения весенне-летнего ($V_{в-л}$, верхняя кривая) и зимнего стока (V_z)

Эти выводы в целом согласуются с результатами исследований изменения климата на территории Украины [11, 12], но не совпадают с выводами [13] по Российской Федерации, охватывающей незначительную площадь бассейна Черного моря. По указанным выше периодам, принятым для оценки внутригодовых изменений, ни годовой, ни сезонный сток значимых трендов не имеют. Но и в 1956-74 гг., и в 1975-2012 гг. средний за период годовой сток оказался больше, чем в период естественного режима за счет увеличения меженного стока при уменьшении объема весенне-летнего стока, особенно в 1975-2012 гг. (табл.4).

Следовательно, активное освоение водных ресурсов бассейна и увеличение безвозвратных изъятий стока, достигших своего максимального уровня к 1975 г., происходило в многоводный период, сформировавшийся под влиянием климата, что подтверждает выводы [8] об изменении стока Дуная. Значительное климатическое увеличение стока в море превысило его изъятия. Видимо, этим можно пояснить и то, что в [1] по данным за 1923-85 гг. влияние изъятий стока на режим моря не обнаруживалось.

Таблица 4
Годовой и сезонный сток в море, км^3

Сезон	Периоды, годы		
	1921-1955	1956-1974	1975-2012
Год	352	359	356
Весна-лето	169	162	155
Лето-осень	108	112	116
Зима	74,8	83,5	87,3

Не отрицая роли изменений климата, заметим, что во внутригодовом перераспределении стока в море с 1975 г. существенную роль играет антропогенный фактор. Нагляднее всего это видно на примере изменений стока р. Днепр. Следствием этого влияния является уменьшение весенне-летнего стока, значительная часть которого изымается на заполнение каскада водохранилищ, и увеличение по абсолютной величине примерно на 16 % зимнего стока.

В публикациях многих авторов обсуждается вопрос о роли речного стока в изменениях важнейшей характеристики режима моря — уровня воды. Так, например, в [14] определено, что за 1923-1998 гг. под влиянием изменений речного стока среднегодовой уровень моря возрос на 3,2 см, в [15] с учетом данных многоводного 2010 г. эта величина оказалась равной 7,6 см ($0,37 \text{ км}^3/\text{год}$). Наши данные за 92-летний период

показали, что в целом за весь период увеличения годового речного стока в море не происходило. Колебания годового стока и уровня моря в отдельные периоды всего ряда наблюдений были значительными, от -30 до $+40$ см, но они кратковременны и отражают кратковременные изменения климата в бассейне. Следовательно, имеющиеся различия в оценках многолетних изменений уровня моря под влиянием речного стока, по-видимому, объясняются различной продолжительностью рассматриваемых периодов.

По оценкам [15] в Севастополе, признанном многими авторами репрезентативным пунктом наблюдений для оценки среднего уровня моря, за последнее столетие среднегодовой уровень поднялся на 17 см. Результаты настоящего исследования и выводы [15] подтверждают мнение ряда авторов, в частности [14], о влиянии на уровень Черного моря колебаний уровня Мирового океана. Более существенно влияние речного стока на сезонные изменения уровня моря.

Выводы

Ежегодные данные о среднемесечном и годовом стоке рек в Черное море за 1921-2012 гг. уточняют их нормы. Для годового притока речных вод за 92-летний ряд норма составила 355 км^3 . Многолетние изменения суммарного годового стока значимого тренда не имеют.

Это показывает, что в повышении среднегодового уровня моря на 17 см за последнее столетие роль речного стока преувеличена. Подтверждается мнение ряда исследователей о существенном влиянии на уровень моря изменений баланса пресных вод и уровня Мирового океана.

Внутригодовое распределение стока претерпело заметное изменение. По сравнению с периодом естественного режима большинства рек бассейна (1921-1955 гг.) в последние 37 лет возросли летне-осенние и зимние стоки, но уменьшилась доля весенне-летних стоков. Кроме общепризнанных климатических причин этих изменений обосновано влияние антропогенного фактора.

* *

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том IV, Вып.1. Ред. Симонов А.И. и Альтман Э.Н. — С.Пб.: Гидрометеоздат, 1991. — 430 с.
2. Ильин Ю.П., Симов В.Г., Репетин Л.Н. Проблемы и перспективы мониторинга водного баланса Черного и Азовского морей // Сб. науч. тр. МГИ

НАНУ «Эколог. безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа» — Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010 — Вып. 22. — С. 175-181.

3. Иванов В.А., Белокопытов В.Н. Океанография Черного моря. — МГИ НАН Украины — Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. — 213 с.
4. Симов В.Г., Шевела Л.А. База гидрометеорологических и гидрохимических данных по устьевым областям рек Украины. М-лы X научной конф. «Ломоносовские чтения» 2011 г. и X Междун. научн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2011». — Севастополь: филиал МГУ, 2011. — С.15, 16.
5. Воскресенский К.П. Методические рекомендации к составлению справочника по водным ресурсам СССР // ГГИ. — 1961. — Вып. 5. — 70 с.
6. Шикломанов И.А. Антропогенные изменения водности рек. — Л.: Гидрометеоздат, 1979. — 304 с.
7. Шерешевский А.И., Синицкая Л.К. Оценка влияния возможных изменений климата на водность р. Днепр //Тр. УкрНИГМИ, 1998. — Вып. 246. — С. 86-94.
8. Гидрология дельты Дуная. Ред. Михайлов В.Н. — М.: ГЕОС, 2004. — 448 с
9. Гребень В.В. Современные особенности внутригодового распределения стока рек Украины // Глобальные и региональные изменения климата. — К.: Ника-Центр, 2011. — С. 391-401.
10. Лобода Н.С. Влияние изменений климата на водные ресурсы Украины (моделирование и прогнозы по данным климатических сценариев) // Глобальные и региональные изменения климата. — К.: Ника-Центр, 2011. — С. 340-351.
11. Клімат України (за ред. В.М. Липінського, В.А. Дячука, В.Н. Бабіченко). — К.: Вид-во Раєвського, 2003. — 343 с.
12. Барабаш М.Б., Татарчук О.П., Гребенюк Н.П., Корж Т.В. Современное состояние режима осадков на территории Украины как следствие изменения климата // Глобальные и региональные изменения климата. — К.: Ника-Центр. — 2011 г. — С. 198-206.
13. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. — М., 2014 г. — 58 с.
14. Горячкин Ю.Н., Иванов В.А. Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее. — Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006. — 210 с.
15. Ильин Ю.П., Репетин Л.Н. Климатические изменения гидрометеорологического режима северного и восточного побережий Черного моря // Сб. науч. тр. МГИ НАНУ «Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа» — Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012. — Вып. 25. — С. 157-169.

Морское отделение УкрГМИ, г. Севастополь

В.Г. Сімов

Річковий стік у Чорне море

Приведено нові дані про середньомісячний і річний приплив річкових вод у Чорне море за 1921-2012 рр., отриманих за допомогою емпіричних зв'язків із сумарним стоком річок Дунаю та Дніпра. Досліджено його міжрічні та внутрішньорічні зміни. Визначено тренди зміни річного й сезонного стоку, а також рівня моря. Установлено вплив клімату, регулювання та вилучення стоку річок на приплив річкових вод у море.

Ключові слова: стік води, міжрічна та сезонна мінливість, тренди, рівень моря.

V.G. Simov

River Runoff in the Black Sea

New data of the average monthly and annual inflow of river waters in the Black sea for 1921-2012 are represented. This data have been got through empiric connections with the summary flow of the Danube and the Dnieper River. Its' inter-annual and annual changes have been investigated. There are trends of the annual, seasonal flow change and trends of the sea level change. It has been determined how the climate, the adjusting and the withdrawals of the river flows affect the river waters inflow into the sea.

Keywords: water flow, interannual and seasonal variability, trend, sea level.