

В.Г.Симов, Н.Н.Дьяков, Л.А.Шевела

*Морское отделение Украинского научно-исследовательского
гидрометеорологического института, г.Севастополь***ПРИТОК РЕЧНЫХ ВОД В АЗОВСКОЕ МОРЕ**

Для оценки притока речных вод в Азовское море использованы наиболее продолжительные ряды наблюдений на основных реках (Дону и Кубани) более чем за столетний период. На основе анализа межгодовых изменений стока с помощью разностно-интегральных кривых стока выделены многоводные и маловодные фазы изменений стока рек в Азовское море под влиянием изменений климата и антропогенного воздействия.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *речной сток, водный баланс, гидрографы стока, Азовское море.*

Речной сток в Азовское море является важной составляющей водного баланса моря. Его объём, внутригодовое распределение и межгодовые изменения влияют на солёность моря, содержание минеральных и биогенных веществ. Поэтому оценке притока речных вод в море посвящено много работ, среди которых можно назвать, например, [1 – 8]. В указанных и других работах акцентируется внимание на определение средней многолетней величины, нередко называемой нормой речного стока, и оценку тенденции изменения хронологического ряда ежегодных значений. Однако, из-за использования в исследованиях данных за периоды различной продолжительности и без учёта цикличности колебаний речного стока, многолетние характеристики существенно различаются.

В настоящей работе оценка речного стока в море выполнена с учётом многолетних данных и цикличности колебаний стока. Для этого использованы материалы наблюдений на основных реках – Дону и Кубани – за период от начала их производства 1891 по 2008 гг. При расчёте суммарного притока в море учтён вынос пресных вод из малых рек и Кубанских лиманов.

Цикличность колебаний годового стока отдельных рек и суммарного притока в море исследована с помощью разностных интегральных кривых, координаты которых определялись по формулам

$$\sum_{i=1}^{i=n} (k-1) = f(n), \quad k = V_i/V_{cp}, \quad V_{cp} = \sum V_i/n, \quad (1)$$

где V_i – годовой объём стока, км³; V_{cp} – средний годовой сток за период наблюдений, км³; n – продолжительность наблюдений, лет.

Положительный тренд ординат разностной интегральной кривой отражает многоводную фазу стока, отрицательный – маловодную. Полный цикл включает обе фазы.

В Азовское море впадает 28 рек, имеющих постоянное течение на протяжении всего года, основные из которых перечислены в табл.1.

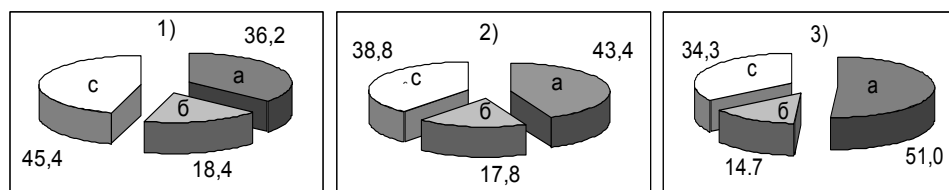
Крупнейшие реки по длине (L) и площади (F): Дон ($L = 1870$ км, $F = 422000$ км²), р.Кубань ($L = 870$ км, $F = 57900$ км²), р.Ея ($L = 311$ км, $F = 8650$ км²),

Т а б л и ц а 1. Основные реки, впадающие в Азовское море.

№ п/п	название реки	длина, км	площадь водосбора, км ²	годовой сток, млн. м ³
1	Большой Утлюк	83	850	–
2	Малый Утлюк	67	560	–
3	Молочная	197	3450	5,36
4	Ташенак	55	–	–
5	Домузла	23	568	–
6	Корсак	61	715	7,57
7	Лозоватка	72	560	13,6
8	Обиточная	100	1430	51,4
9	Берда	130	1720	79,8
10	Кальмиус	209	5070	391
11	Грузский Еланчик	91	1250	4,1
12	Мокрый Еланчик	110	1390	16,4
13	Миус	258	6680	372
14	Самбек	56	679	–
15	Дон	1870	422000	$21,7 \times 10^3$
16	Кагальник	162	–	–
17	Ея	311	–	–
18	Бейсуг	193	–	–
19	Кубань	870	57900	$12,3 \times 10^3$

р.Миус ($L = 258$ км, $F = 6680$ км²), р.Кальмиус ($L = 209$ км, $F = 5070$ км²). Количество рек и речной сток вдоль береговой линии моря распределяются неравномерно. Наиболее густая гидрографическая сеть характерна для северного и восточного побережья. В устьях большинства рек имеются дельты и лиманы. Наиболее крупные из них расположены в устьях рек Дона и Кубани. Площадь дельты Дона 538 км², Кубани 4190 км². Между устьями рек и морем расположены устьевые водоёмы – Таганрогский залив, Ейский, Бейсугский, Кубанские, Миусский и Молочный лиманы. В разные по водности годы доля речного стока в приходной части водного баланса моря изменяется от 36,2 % в маловодном году до 51,0 % в многоводном (рис.1).

Суммарный сток речных вод в Азовское море складывается из стока рек Дона и Кубани, стока через гирла Кубанских лиманов и стока малых рек



Р и с . 1. Вклад речного стока в приходную часть водного баланса моря в мало-водный (1), средний по водности (2) и многоводный (3) годы (по [8]).

[5, 7 – 10]. Сток Дона определён по данным измерений у станицы Раздорской (151 км от моря) с 1922 г. и у станицы Мелеховской с 1891 г. Имевшиеся пропуски в данных за 1918, 1922 – 1924 и 1927 гг. были восстановлены по связи годового объёма стока с его величиной за июнь – сентябрь. Приращение стока от станицы Раздорской до морского края дельты принято равным нулю [9].

До 1952 г. на Дону крупные гидротехнические сооружения отсутствовали, безвозвратные изъятия были небольшими. Поэтому можно считать, что изменения стока реки в этот период были обусловлены исключительно климатическими условиями.

После сооружения Цимлянской плотины и водохранилища (1952 г.) величина и внутригодовой режим стока р. Дона претерпели значительные изменения. Внутригодовое распределение стока стало характеризоваться повышенными значениями в летне-осенний и зимний периоды, невысоким половодьем даже в многоводные годы (рис.2). В маловодные же годы весенние попуски из водохранилища лишь непродолжительное время (около 30 суток) превышают меженный сток всего в 2 – 2,5 раза. В многоводные годы, как это было, например в 1979 г., весенний сток с середины марта до июня в 4 – 5 раз больше меженного, но при естественном режиме он был ещё выше. В целом после 1951 г. внутригодовое распределение годового объёма стока характеризуется возросшей равномерностью.

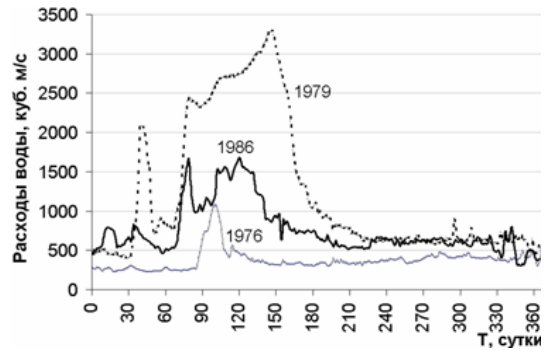
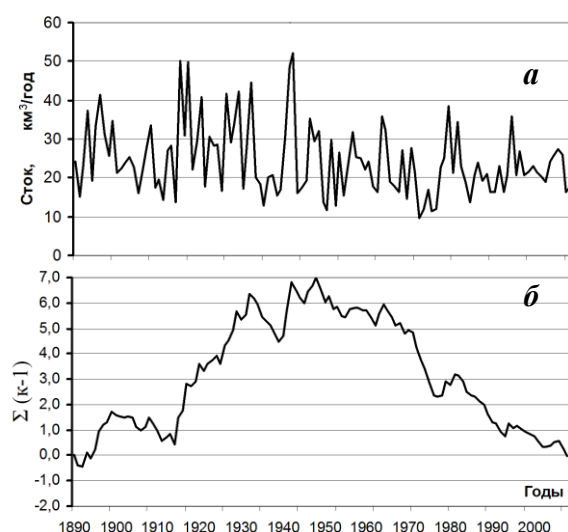


Рис. 2. Характерные гидрографы стока р.Дона при современном режиме в многоводный (1979), средний (1986) и маловодный (1976) годы.

Изменения годового стока р. Дона за весь период наблюдений (рис.3, а) характеризуются чередованием многоводных и маловодных периодов продолжительностью от 3 – 5 до 9 – 12 лет. При этом размах колебаний после 1951 г. уменьшился.

На разностной интегральной кривой изменений стока за весь период наблюдений (рис.3, б) чётко выделяется один большой цикл с многоводной фазой с 1914 по 1948 гг. и маловодной – в период с 1949 по 1993 гг. Внутри этого периода выделяются более короткие циклы: 1914 – 1938, 1939 – 1955, 1956 – 1977, 1978 – 1993 гг. Фазы цикла последнего 15-летия выражены не чётко, по-видимому, из-за того, что он ещё не закончился. Такой характер изменений годового стока обусловлен преимущественно климатическими факторами до 1948 – 1951 гг. и наложением антропогенного воздействия после сооружения Цимлянского гидроузла. Следовательно, ряд наблюдений за весь период является неоднородным, поэтому многолетние характеристики необходимо определять отдельно: для естественного режима (до 1948 – 1952 гг.) и зарегулированного (с 1952 по 2008 гг.). Средний годовой сток за 1891 – 1951 гг. составил 26,8 км³. Таким же он оказался и за период совместных наблюдений на р. Кубани, т.е. за 1929 – 1948 гг. (табл.2).



Р и с . 3 . Хронологический ход (а) и разностная интегральная кривая (б) изменений годового стока р.Дон у станции Раздорской.

положенном выше узла разветвления реки на два рукава в 117 км от моря. При этом учитывались изменения стока в дельте [9]. В связи со строительством Тиховского гидроузла пост был перенесён, поэтому сток в море в дальнейшем рассчитывался как сумма данных двух постов: с. Слободка на рук. Протока и хут.Зайцево Колено на рук. Кубань. В отдельные годы, когда измерения в с. Слободка отсутствовали сток рассчитывался по данным в станции Гривенской и у хут.Зайцево Колено с использованием коэффициентов по [10]. С помощью коэффициентов из этой же работы определён вынос воды в море через гирла Кубанских лиманов.

До конца 1948 г., когда на Кубани был построен Невинномысский канал, изъятия стока были незначительными. Поэтому среднюю годовую величину за 1929 – 1948 гг., равную 13,2 км³, можно считать соответствующей периоду естественного (незарегулированного) режима.

По графикам хронологического изменения стока (рис.4, а) и разностной интегральной кривой (рис.4, б) видно, что до 1969 г. межгодовые изменения были незначительными, цикличность не выражена. Одновременно заметен незначительный отрицательный тренд, связан-

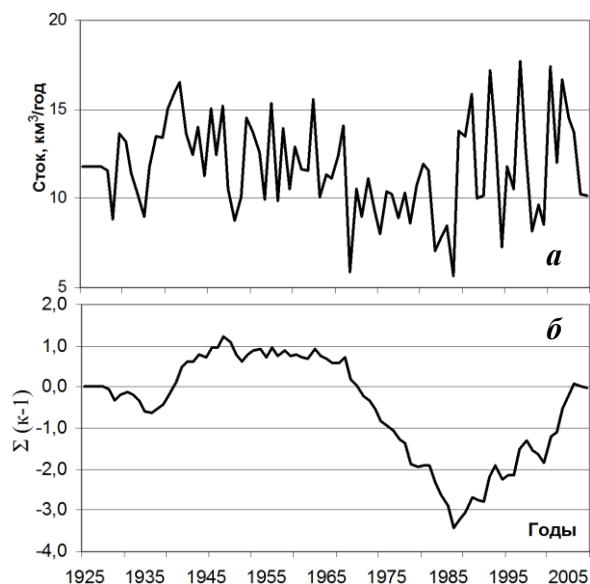
При зарегулированном режиме годовой объём стока уменьшился в среднем за период до 21,5 км³. При этом величина за отдельные циклы зарегулированного режима изменялась от 16,5 до 23,2 км³. Многоводная фаза в последнем периоде началась с 1991 г.

Сток Кубанских вод в море определён по более сложной схеме. Известно [9], что он поступает в Азовское море по двум рукавам – Протоке и Кубани – и через лиманские гирла. С 1929 (начало наблюдений) по 1989 гг. сток в море определялся по данным измерений в хут.Тиховском, рас-

Т а б л и ц а 2 . Речной сток в Азовское море¹, км³/год.

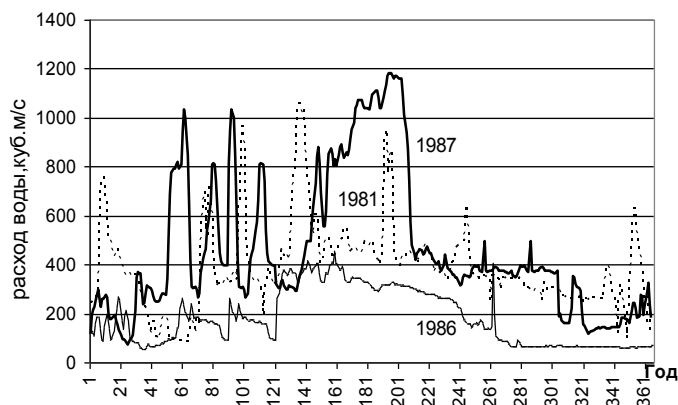
период	р.Дон	р.Кубань	Σ
1929 – 1948	26,8	13,2	40,0
1949 – 2008	21,5	12,2	33,7
1929 – 1938	24,0	11,9	35,9
1939 – 1948	29,7	14,5	44,2
1949 – 1968	22,2	12,1	34,3
1969 – 1977	16,5	9,7	26,2
1939 – 1977	22,5	12,2	34,7
1978 – 1990	22,5	11,1	33,6
1991 – 2006	23,2	14,7	37,9
1929 – 2008	22,8	12,5	35,3

¹Примечание: Для определения суммарного стока в море к полученной сумме необходимо добавить сток малых рек, который с учётом [3, 6, 7] рекомендуется принимать равным 2,0 км³ до 1949 г., 1,5 км³/год с 1949 г.



Р и с . 4 . Хронологический ход (а) и разностная интегральная кривая (б) годового стока р.Кубани у хут.Тиховского.

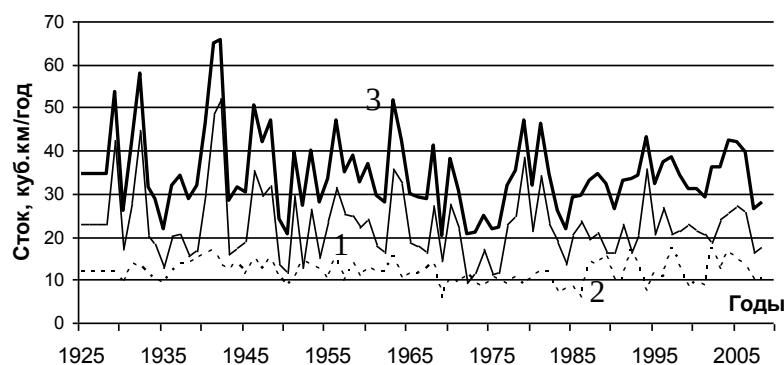
ящаяся до настоящего времени многоводная фаза (рис.4, б), средний годовой сток в течение которой равен $14,4 \text{ км}^3$. На фоне общего увеличения водности реки в этот период выделяется возросший размах колебаний стока (рис.4, а) и наличие циклов продолжительностью 5 – 7 лет. Можно полагать, что такой тенденции изменения стока реки кроме благоприятных изменений климата в бассейне способствовало уменьшение объёма водопотребления до $3,0 \text{ км}^3/\text{год}$ из-за снижения темпов экономического развития в бассейне реки. Следовательно, и для этой реки ряд наблюдений за весь период является неоднородным, цикличность колебаний ясно не выражена, поэтому определение нормы годового стока невозможно. Можно лишь говорить о возможности определения средней величины за определённый однородный период. Внутригодовое распределение стока р.Кубани при современном режиме в сравнении с периодом естественного режима существенно не изменилось (рис.5), т.к. изъятия воды во все времена производились во время весенне-летнего половодья.



Р и с . 5 . Характерные гидрографы стока р.Кубани при современном режиме в многоводный (1987), средний (1981) и маловодный (1986) годы.

ный с постоянным нарастанием безвозвратных изъятий стока до $1,0 - 1,6 \text{ км}^3/\text{год}$. В последующем, особенно после сооружения в 1972 г. Краснодарского водохранилища, наступила маловодная фаза с 1969 по 1986 гг., средний годовой сток в течение которой был наименьшим за весь период наблюдений и составил $9,2 \text{ км}^3/\text{год}$.

По-видимому, кроме климатических условий этого периода, на величину стока реки повлиял значительно возросший объём изъятий, оцениваемый по разным источникам, равным $4,1 - 4,6 \text{ км}^3/\text{год}$ [8, 9]. С 1987 г. началась продолжаю-



Р и с . 6 . Многолетние изменения годового стока рек (км³):
р.Дон (1), р.Кубань (2), суммарный сток в море (3).

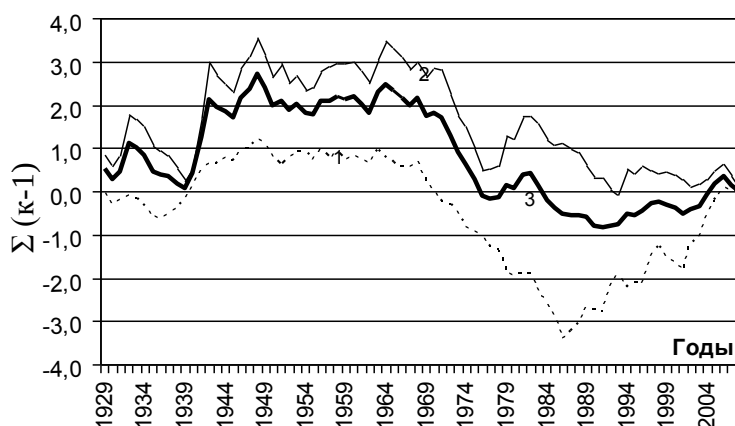
Сток малых рек недостаточно изучен. По данным из различных источников его приближённая величина может быть принята равной 2,0 км³/год при естественном режиме (до 1950 г.) и 1,5 км³/год в современных условиях.

Многолетнюю изменчивость суммарного стока в море определяют колебания стока Дона и Кубани (рис.6, 7). Роль Дона преобладает, т.к. доля его стока в общем притоке речных вод в море около 60 %, а размах межгодовых колебаний значительно превышает изменения стока р. Кубани. Между годовым суммарным стоком в море (V_m) и стоком Дона (V_d) установлена удовлетворительная зависимость (коэффициент корреляции 0,9), выраженная уравнением

$$V_m = 1,065V_d + 10,98. \quad (2)$$

Эта зависимость может быть использована для приближённой оценки суммарного притока в море при отсутствии данных по другим рекам.

По совмещённым разностным интегральным кривым (рис.7) видно, что колебания стока Дона и Кубани происходят не синхронно. В море, как и на Дону, с 1978 по 1990 г. наблюдается полный цикл. На Кубани же в этот период продолжается до 1986 г. маловодная фаза, а с 1987 г. наступает много-



Р и с . 7 . Совмещенные разностные интегральные кривые:
р.Дон (1), р.Кубань (2), суммарный сток в море (3).

водный период, который накладывается на последний цикл колебаний стока Дона. Подобные изменения стока рек могут быть объяснены различием климатических условий в их бассейнах. Антропогенные изменения стока рек либо сглаживают колебания стока в многоводные фазы, либо усугубляют их, если это происходит во время маловодной фазы.

Как было установлено выше, естественный режим на Кубани продолжался до 1949 г. на Дону в этом году началась маловодная фаза, которая затем продолжилась искусственным уменьшением стока с 1952 г.

Следовательно, период естественного режима для суммарного стока в море следует считать от начала производства наблюдений на двух реках по 1948 г. Межгодовые изменения речного притока в море в этот период какими-то особенностями не отличались от последующих, а его средняя величина за 1929 – 1948 гг. составила 40,0 км³ (табл.2). На разностной интегральной кривой (рис.7) отмечается небольшой цикл с 1929 по 1938 гг., очень чёткий большой цикл (1939 – 1977 гг.) с многоводной фазой с 1939 по 1948 гг., фазой относительно стабильного стока – с 1949 по 1968 гг. и маловодной фазой с 1969 по 1977 гг., а также два полных цикла (1978 – 1990 и 1991 – 2006 гг.). Средние величины годового стока отдельно по Дону и Кубани, а также его суммы приведены в табл.2. Из неё видно, что в среднем за период зарегулированного режима сток в море составлял 33,7 км³. Но по отдельным фазам его величина изменялась от 26,3 в (1969 – 1977 гг.) гг. до 37,9 км³ (в 1991 – 2006 гг.). В последнем периоде большой приток в море обусловлен в основном многоводностью Кубани. Соответствующая этому периоду фаза колебаний стока реки наступила в 1987 г. Большой приток в море речных вод привёл к снижению солёности и улучшению состояния моря по другим показателям [11].

Выполненный анализ многолетних изменений стока основных притоков Азовского моря и суммарного поступления речной воды в море позволяет сделать важные методологические выводы.

Осреднение данных о стоке в море за большие периоды времени без учёта цикличности его колебаний внутри этих периодов может привести к ошибочным выводам о причинах изменения гидролого-гидрохимических характеристик моря.

Определение нормы годового стока в море не имеет смысла, т.к. используемые для этого ряды наблюдений являются неоднородными. Более корректным для определения причинно обусловленности изменения параметров режима моря является рассмотрение данных отдельно по циклам или фазам колебаний речного стока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксёнов А.А. Изменения гидрологического режима Азовского моря в связи с зарегулированием стока рек Дона и Кубани // Тр. ГОИН.– 1955.– вып.12.– С.8-33.
2. Гидрометеорологический справочник Азовского моря.– Л: Гидрометеониздат, 1962.– 853 с.
3. Современный и перспективный водный и солевой баланс южных морей СССР // Тр. ГОИН.– 1972.– вып.108.– С.22-26.

4. *Алдакимова А.Я., Некрасова М.Я., Студеницина Е.И.* Гидрологический режим Азовского моря и его изменения в связи с преобразованием речного стока / Вопросы биогеографии Азовского моря и его бассейна.– Л., 1977.– С.35-49.
5. *Бронфман А.М., Хлебников Е.П.* Азовское море. Основы реконструкции.– Л.: Гидрометеиздат, 1985.– 270 с.
6. *Симов В.Г.* Гидрология устьев рек Азовского моря.– М.: Гидрометеиздат, 1989.– 326 с.
7. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.V. Азовское море.*– С.-Пб.: Гидрометеиздат, 1991.– 236 с.
8. *Кукса В.И., Гаргона Ю.М.* Современная оценка гидрологических условий формирования биопродуктивности Азовского моря // Водные ресурсы.– 2004.– т.31, № 4.– С.489-497.
9. *Матишов Г.Г., Гаргона Ю.М., Бердников С.В., Дженюк С.Л.* Закономерности экосистемных процессов в Азовском море.– М.: Наука, 2006.– 314 с.
10. *Михайлов В.Н., Магрицкий Д.В.* Современный водный баланс дельты Кубани и расчёт притока Кубанских вод в Азовское море // Тр. ГОИН.– 2008.– вып.211.– С.222-248.
11. *Ильин Ю.П., Фомин В.В., Дьяков Н.Н., Горбач С.Б.* Гидрометеорологические условия морей Украины. Т.1. Азовское море.– Севастополь, 2009.– 402 с.

Материал поступил в редакцию 13.05.2010 г.