

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ "ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ЮЖНОГО РЕГИОНА УКРАИНЫ"

УДК 551.465.71

~ 6611-84 Den.

Э.Н. Альтман

ВОДНЫЙ БАЛАНС ЧЕРНОГО МОРЯ И АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ
СОЛЕННОСТИ ЕГО СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ

Своеобразие гидрологического режима Черного моря определяется в первую очередь соотношением составляющих его водного баланса. В последние годы на естественные климатические колебания режима моря стали накладываться антропогенные изменения, связанные с целенаправленной деятельностью человека по преобразованию природы в бассейне моря.

Задача настоящего исследования заключалась в разработке методов и расчете погодичных величин составляющих баланса Черного моря и солености его северо-западной части для статистической оценки изменчивости режима.

Расчет водного баланса моря проводился по годам за многолетний период (1923-1940, 1945-1980 гг.) по уравнению:

$$(Q_p + Q_o + Q_s^H + Q_A) - (Q_u + Q_s^B + Q_u) = \pm \Delta B, \quad (I)$$

где Q_p - суммарный речной сток; Q_o - атмосферные осадки на поверхность моря; Q_s^H - приток мраморноморских вод через Босфор с нижним течением; Q_A - приток азовских вод через Керченский пролив; Q_u - испарение с поверхности моря; Q_s^B - сток вод через Босфор с верхним течением; Q_u - отток вод в Азовское море через Керченский пролив; ΔB - изменение объема моря.

Суммарный сток рек в Черное море рассчитывался по дан -

ным непосредственных наблюдений на крупных реках СССР. Для малых рек - по связи со стоком крупных рек. Годовые значения стока рек вне территории побережья СССР рассчитывались по данным о его среднем многолетнем значении /4, 6/ и на основе хода модульных коэффициентов суммарного стока рек побережья СССР.

За рассматриваемый период суммарный сток рек в Черное море оказался равным 338 км^3 в год (таблица). Из них на долю стока рек северо-западного района приходится в среднем 79% стока. Изменения суммарного стока за многолетний период составили: от 492 км^3 в 1970 г. (145% среднего многолетнего) до 246 км^3 в 1949 г. (73% среднего). Коэффициент вариации многолетнего ряда 0,16. Несмотря на зарегулирование и изъятие на нужды народного хозяйства части стока Днепра и других рек, в многолетнем ходе речного стока за рассматриваемый период отмечен незначительный положительный тренд. Угловой коэффициент его равен $0,55 \text{ км}^3/\text{год}$.

Современный водный баланс Черного моря

Приход вод				:	Расход вод			
Объем				:	Объем			
Характеристика	$\text{км}^3/\text{г}$	%	среднее квadratic- ческое отклонение, км^3	:	Характеристика	$\text{км}^3/\text{г}$	%	среднее квadratic- ческое отклонение, км^3
Речной сток	338	42	61		Испарение	402	50	34
Осадки	235	29	37		Отток через Босфор	366	46	58
Приток через Босфор	181	23	38		Сток в Азовское море	33	4	5
Приток из Азовского моря	50	6	8					
Сумма	804	100			Сумма	801	100	

Примечание: Приращение объема моря, вычисленное через изменение среднего уровня, составило $3 \text{ км}^3/\text{г}$.

В связи с отсутствием регулярных наблюдений в открытом море за большинством гидрометэлементов расчеты остальных составляющих водного баланса выполнены косвенным путем. В частности, использовался метод модульных коэффициентов (отношение годового значения элемента к его среднему многолетнему) и гипотеза о пропорциональности изменений осредненных модульных коэффициентов в прибрежной и открытой частях моря. Такой прием позволил рассчитать годовые значения атмосферных осадков и испарения, используя их средние многолетние значения и регулярные гидрометнаблюдения на береговых гидрометстанциях.

Расчетами установлено, что в среднем на поверхность Черного моря выпадает 235 км^3 атмосферных осадков в год. Их изменения за многолетний период составили: от 316 км^3 в 1939 г. (137% среднего) до 170 км^3 в 1949 г. (74% среднего). Коэффициент вариации ряда 0,15. В многолетнем ходе осадков тренд не выявлен.

Расчеты испарения выполнены по формуле В.С.Самойленко /5/ для равновесной стратификации атмосферы. Средняя многолетняя величина испарения с поверхности Черного моря оказалась равной 402 км^3 в год. Ее изменения: от 484 км^3 в 1951 г. (120% среднего многолетнего) до 309 км^3 в 1980 г. (77% среднего). Коэффициент вариации ряда 0,09. В многолетнем ходе испарения отмечен незначительный отрицательный тренд с угловым коэффициентом $-0,71 \text{ км}^3/\text{год}$.

Важной составляющей баланса вод Черного моря является водообмен через пролив Босфор. Для оценки его погодиных величин преобразуем уравнение (I) к виду:

$$Q_B^R = N - \Delta B + Q_K^R, \quad (2)$$

где $Q_B^R = Q_B^B - Q_B^H$ - результирующий водообмен через Босфор;
 $N = Q_P + Q_O - Q_U$ - баланс пресных вод;
 $Q_K^R = Q_A - Q_{\text{ч}}$ - результирующий водообмен через Керченский пролив.

При отсутствии сведений об атмосферных осадках или испарении баланс пресных вод может быть рассчитан по уравнению связи с суммарным речным стоком (коэффициент корреляции $0,845 \pm 0,026$):

$$N = 1,6 Q_p - 370,38. \quad (3)$$

Используя данные А.К.Богдановой /3/ и наши косвенные оценки водообмена, с помощью сплайн-функции были получены зависимости $Q_E^H = f(Q_E^R)$ и $Q_E^B = f(Q_E^R)$.

Полагая, что перенос вод через пролив осуществляется непрерывно, проведены расчеты составляющих водообмена по годам за многолетний период (рисунок).

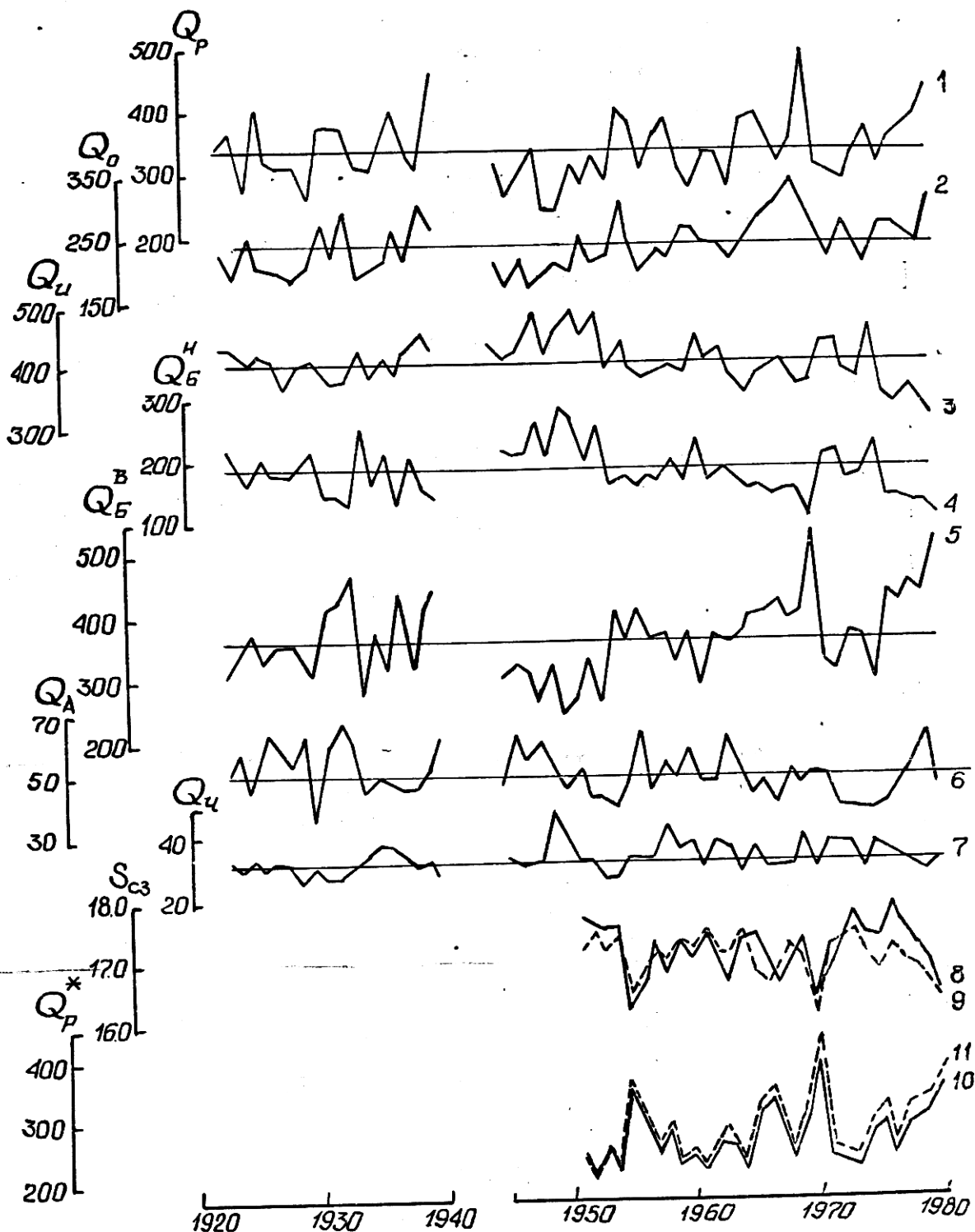
Средняя многолетняя величина стока вод через Босфор оказалась равной 366 км^3 в год. Ее изменения: от 536 км^3 в 1970 г. (146% средней) до 243 км^3 в 1950 г. (66% средней). Коэффициент вариации ряда 0,17.

Средний приток вод из Мраморного в Черное море составил 181 км^3 в год и изменялся за многолетний период от 260 км^3 в 1948 г. (144% среднего) до 102 км^3 в 1970 г. (56% среднего). Коэффициент вариации ряда 0,22.

Расчет водообмена через Керченский пролив выполнен с помощью модели, разработанной автором ранее /1/. Средняя величина стока вод из Черного моря в Азовское составила 33 км^3 в год. Ее изменения: от 49 км^3 в 1949 г. (148% средней) до 25 км^3 в 1929 г. (76% средней). Коэффициент вариации ряда 0,14. Из Азовского моря в Черное в среднем приходит за год 50 км^3 распресненных вод. Эта величина изменяется за многолетний период: от 68 км^3 в 1932 г. (136% среднего) до 34 км^3 в 1930 г. (68% среднего). Коэффициент вариации ряда 0,16.

За период с 1952 г. после зарегулирования стока Дона приток азовских вод в Черное море стал уменьшаться. В середине 70-х годов в результате возрастания безвозвратных изъятий пресных вод и наступления периода климатического маловодья его средняя величина понизилась до 43 км^3 в год. Однако в общем балансе Черного моря это сказалось незначительно.

Таким образом, расчеты составляющих баланса показали, что в среднем объем приходно-расходной части водного баланса Черного моря составляет приблизительно 800 км^3 в год, или около 0,15% объема вод моря. Если считать, что изменения баланса активно сказываются на гидрологию лишь 200-метрового слоя моря, то объем годового баланса составит 1,2% объема



Многолетняя изменчивость составляющих водного баланса Черного моря (км^3) и солености его северо - западной части ($^{\circ}/_{\text{oo}}$)

I - суммарный речной сток; 2 - атмосферные осадки; 3 - испарение; 4 - приток вод через Босфор; 5 - отток вод через Босфор; 6 - приток вод из Азовского моря; 7 - сток вод в Азовское море; 8 - измеренная соленость; 9 - расчетная соленость; 10 - речной сток северо-западной части моря по данным измерений; 11 - восстановленный речной сток с учетом безвозвратных изъятий вод

рассматриваемого слоя, т.е. даже в этом случае полная обновляемость вод может произойти не ранее, чем через 90 лет. В целом, как было показано, современный баланс Черного моря можно считать установившимся.

В то же время, в связи с тем, что основные изъятия стока происходят из бассейна северо-западной части моря, в этом районе в первую очередь должны произойти изменения гидрологического режима. Для оценки этих и ожидаемых изменений использована балансовая модель солёности для неустановившегося режима.

Уравнение баланса записывается в виде

$$\frac{dS_{сз}}{dt} = \frac{1}{B} (Q_p^* S_p + Q_{ч}^* S_{ч}^* - Q_{сз}^* S_{сз}^*), \quad (4)$$

где Q_p^* , $Q_{ч}^*$, $Q_{сз}^*$ - объём стока рек, притока вод из открытой части Черного моря и стока вод из северо-западного района соответственно; S_p , $S_{ч}^*$, $S_{сз}^*$ - солёность соответствующих вод; t - время; B - объём вод района.

Исходными параметрами для решения уравнения (4) послужили обобщенные нами по годам данные о солёности, собранные в информационной базе регионального банка данных СО ГОИНа, и элементы водного баланса района [2]. Уравнение (4) решалось в предположении, что величины $S_{ч}^*$ и $S_{сз}^*$ изменяются со временем пропорционально разности $\bar{S}_{ч} - \bar{S}_{сз}$, т.е. разности средних значений солёности западной и северо-западной части Черного моря.

Полученное расчетное уравнение имеет вид:

$$\bar{S}_{сз} = \frac{q_i}{P_i} + \left(\bar{S}_{сз, i-1} - \frac{q_i}{P_i} \right) e^{-P_i}, \quad (5)$$

где $\bar{S}_{сз}$ - средняя солёность района в расчетном году; $\bar{S}_{сз, i-1}$ - соответственно солёность за предшествующий расчету год;

$$q_i = 48,45 - 0,00235 Q_{P_i}^*; \quad P_i = 2,502 + 0,0011 Q_{P_i}^*.$$

Уравнение (5) позволяет рассчитывать среднюю годовую солёность района, если известна солёность предыдущего года и объём суммарного стока рек в северо-западную часть моря в расчетный год. Проверка методики выполнена на материалах наблюдений за солёностью с 1951 по 1980 гг. (рисунок). Отноше -

ние квадратической ошибки проверочных расчетов к среднему квадратическому отклонению ряда наблюдаемой солености составило 0,76 и указывает на удовлетворительную точность разрабатываемой методики.

Расчетами установлено, что наибольшие годовые приращения солености района за счет безвозвратного изъятия пресных вод на нужды народного хозяйства лишь в отдельные годы достигали 0,2⁰/оо. За рассмотренный период средняя годовая соленость района не имеет значимого тренда.

Расчеты изменений солености в будущем в результате планируемых безвозвратных изъятий речного стока, в том числе с учетом канала Дунай-Днепр, показали возможное возрастание средней годовой солености района к 2040 г. до 19,1⁰/оо при наиболее неблагоприятных условиях (при современной средней солености 17,1⁰/оо). Это обстоятельство должно учитываться при перспективном планировании народнохозяйственных мероприятий.

Литература

1. Альтман Э.Н. Исследования водообмена между Черным и Азовским морями. - Сб. работ ЛОМ ГОИН, М., 1972, вып. II, с. 3-47.
2. Альтман Э.Н., Лабунская Л.С., Агарков А.К. Современный баланс пресных вод северо-западного района Черного моря. - Тр. ГОИН, 1978, вып. 145, с. 3-15.
3. Богданова А.К. Сезонные и межгодовые колебания водообмена через Босфор. - В кн.: Биология моря, К., 1972, вып. 27, с. 41-54.
4. Мировой водный баланс и водные ресурсы. - Л.: Гидрометиздат, 1974, 637 с.
5. Самойленко В.С. Современная теория океанического испарения и ее практическое применение. - Тр. ГОИН, 1952, вып. 21, с. 3-31.
6. Солянкин Е.В. О водном балансе Черного моря. - Океанология, 1963, т. 3, вып. 6, с. 986-993.

Севастопольское отделение
Государственного
океанографического института