

УДК 551.465 (262.81)

ТЕЧЕНИЯ И ВОДООБМЕН МЕЖДУ ЗАПАДНОЙ И ВОСТОЧНОЙ
ЧАСТЯМИ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

Ю.И.Компаниец

Течения — один из важных факторов, определяющих водообмен, а значит и теплообмен, солеобмен и обмен биогенными элементами между западной и восточной частями Северного Каспия.

Связь между ветрами и течениями на Каспийском море изучается не одно десятилетие. В 1930 г. Н.Н.Струйский^{х)} для Северного Каспия получил линейную зависимость между скоростью ветра и дрейфовым течением с ветровым коэффициентом, равным 0,15. Для средней части Каспийского моря В.А.Зенин^{х)} в 1942 г. получил $K=0,020$. Н.А.Скриптунов (1958) по данным 2500 наблюдений над течениями и ветром в центральной части предустьевоего взморья Волги получил $K=0,027$ и показал, что направление течения может значительно отклоняться от направления ветра. Анализируя материалы стационарных наблюдений над течениями, проводимыми в Среднем Каспии, Н.Д.Клевцова (1966) выявила более сложную связь между ветром и течением и предложила для различных районов ряд формул этой связи. Г.В.Ржеплинский (1955), используя известные эмпирические зависимости между ветром и течениями и основываясь на картах полей ветра, построенных в 1951 г. С.Д.Кошинским и Л.Г.Пылаевым^{хх)} для Каспийского моря, теоретически рассчитал величины "условного водообмена" между западной и восточной частями Северного Каспия по разрезу о-в Жесткий — о-в Кулалы для полей ветра типа "А" (восточное направление) и типа "С" (западное направление). Величина условного водообмена,

х) Цит. по Скриптунову (1958).

хх) Цит. по Ржеплинскому (1955).

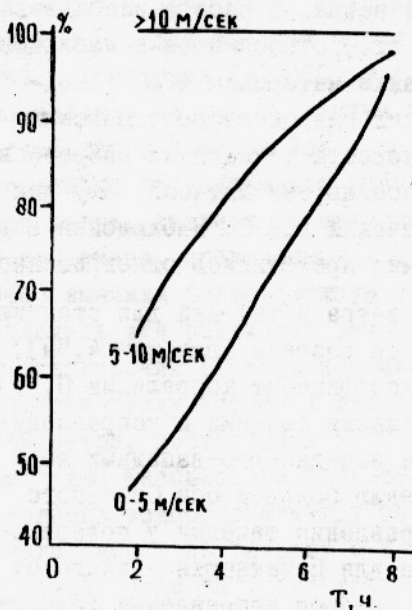
вычисленная по элементарным полным потокам, оказалась равной 175 км^3 в год при ветре типа "А" и 74 км^3 - при ветре типа "С". П.С.Линейкин и А.И.Фельзенбаум (1955) на основе разработанной ими трехмерной теории течений в мелководном море, учитывая три главных фактора, определяющих характер возникновения течений (ветер, конфигурация берегов, рельеф дна), вычислили водообмен (в расходах воды) между западной и восточной частями Северного Каспия. При этом они также использовали карты полей ветра, построенные С.Д.Кошинским и Л.Г.Пылаевым. Изучая режим течений на разрезе о-ва Новинские - о-в Кулалы, Н.А.Скриптунов (1964) установил, что в водообмене между западной и восточной частями Северного Каспия основную роль играют ветровые течения, а роль постоянных течений незначительна. Он построил график зависимости расхода воды, проходящей через сечение о-ва Новинские - о-в Кулалы, от величины проекции вектора скорости течения на направление большой оси Северного Каспия ($55-235^\circ$).

Нами исследована связь между ветром и течениями на разрезе о-в Жесткий - о-в Кулалы и на этой основе вычислен водообмен между западной и восточной частями Северного Каспия для восьми основных направлений ветра. В работе использованы материалы КаспНИРХа (1968-1971 гг.), относящиеся к наблюдениям над ветром и течениями, а также материалы АГМО (1961-1969), опубликованные в Морских гидрометеорологических ежемесячниках. Направления и скорости течений на разрезе в поверхностном слое измерялись поплавками Митчела, а у дна - вертушкой ВММ и самописцем течений БПВ-2. Наблюдения над ветром и течениями в каждой точке проводились одновременно.

Связь между направлениями ветра и течений для станции, расположенной в центральной части разреза (глубина 4,5 м), оказалась удовлетворительной (коэффициент корреляции 0,83). Наиболее точно совпадают направления течений с направлениями восточно-северо-восточных и западно-юго-западных ветров, что соответствует направлению большой оси Северного Каспия. Для I и III четверти направления течений у поверхности и дна отклоняются вправо, а для II четверти - влево от направлений ветров. Наибольший разброс направлений течений наблюдается при северо-западном ветре. В этом случае водные массы западной акватории Северного Каспия большей частью по-

ступают в Средний Каспий, меньшей - в восточную часть Северного Каспия и по направлению ветра. В этом результаты наших исследований хорошо согласуются с выводами Н.А.Скриптунова (1964).

Повторяемость поверхностных и придонных течений в среднем составляет 71% от повторяемости ветра, увеличиваясь до 77% для северо-восточных и юго-западных ветров и уменьшаясь до 65% для северо-западных и юго-восточных ветров. Кроме повторяемости ветра, на повторяемость течений в большой степени влияет скорость и продолжительность ветра (рис.1). При скорости ветра больше 10 м/сек. течение имеет строго определенное направление. Исследование зависимости скорости течения от скорости ветра, проведенное для каждого направления ветра отдельно (по восьми румбам), показало, что течение, улавливаемое приборами, в поверхностном слое возникает в среднем при скорости ветра 2 м/сек., а у дна - при скорости ветра 3 м/сек. При скорости ветра 10-11 м/сек. скорость течения начинает увеличиваться более интенсивно и резко возрастает по достижении ветром скорости 13-14 м/сек. (рис.2).



Нижняя часть графика зависимости скорости течения от скорости ветра (для скорости ветра меньше 10 м/сек.), нанесенная на логарифмическую сетку, и верхняя часть графика, нанесенная на полулогарифмическую сетку, изображаются прямыми линиями. Следовательно, нижняя часть графика представляет собой степенную функцию, а верхняя - экспоненциальную.

Ниже приведены формулы зависимости скорости течения от скорости ветра.

Рис.1. Средняя повторяемость течений (в %) в зависимости от скорости и продолжительности ветра

Для скорости ветра меньше 10 м/сек.

$$V = (KW - a)^{0,66},$$

для скорости ветра больше 10 м/сек.

$$V = K \cdot e^{0,125W},$$

где V - скорость течения, м/сек.;
 K - коэффициент пропорциональности;
 W - скорость ветра, м/сек.

a - постоянное число (равное для поверхностных слоев 2, а для придонных - 3) показывающее, при какой скорости ветра возникает течение.

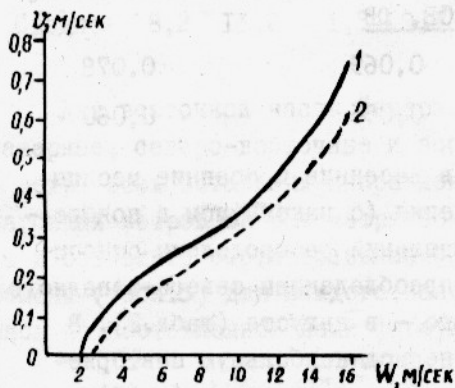


Рис. 2. Зависимость скорости V поверхностного (—) и придонного (- - -) течений от скорости ветра W

Значение коэффициентов, необходимых при вычислении поверхностных и придонных течений северо-восточных (СВ), юго-западных (ЮЗ), северо-западных (СЗ) и юго-восточных (ЮВ) направлений, приведены в табл. I.

Для получения приближенных значений скоростей течений упрощенным методом по прямолинейной зависимости $V = K \cdot W$ нами вычислены значения K ,

равные для поверхностных течений 0,029, а для придонных - 0,021. Водообмен между западной и восточной частями Северного Каспия определен на основании выведенных зависимостей между скоростями ветра и течений соответствующих направлений. По линии о-в Жесткий - о-в Кулалы для уровня моря 28,5 м (Махачкала) построен профиль дна моря и найдена площадь сечения (362800 м²). Для характеристики ветрового режима использованы данные метеостанций о-ва Укатного (Жесткого) и о-ва Кулалы с 1961 по 1969 гг. Величины водообмена вычислены за

навигационный период (апрель-ноябрь) применительно к каждому направлению ветра. При этом принималось, что объем воды в западной ($235,7 \text{ км}^3$) и восточной ($129,5 \text{ км}^3$) частях Северного Каспия постоянны.

Таблица I

Величины коэффициентов для вычисления скорости течения

Горизонт	а	К	
		$W < 10 \text{ м/сек.}$	$W > 10 \text{ м/сек.}$
		<u>СВ, ЮЗ</u>	
Поверхность	2	0,088	0,100
Дно	3	0,088	0,083
		<u>СВ, ЮВ</u>	
Поверхность	2	0,069	0,078
Дно	3	0,055	0,060

Наибольшую повторяемость в весенние и осенние месяцы имеет ветер восточного направления (с максимумом в ноябре - 32,6%). Летом ветры всех направлений распределены относительно равномерно с некоторым преобладанием северо-западного ветра в июне и июле и восточного - в августе (табл.2). В среднем за весь навигационный период наибольшую повторяемость (21,5%) имеет восточный ветер, наименьшую (4,3%) - южный. На остальные направления ветра приходится по 8-12% от общего числа случаев.

Из табл.3 видно, что весной наибольшую скорость на разрезе имеют северо-восточные и восточные ветры, осенью - западные и северо-западные. Летом средние скорости ветра сравнительно равномерно распределяются по восьми румбам. В среднем за весь навигационный период наибольшими скоростями характеризуются северо-западные, западные и восточные ветры, а наименьшими - южные.

Распределение средних скоростей течений на разрезе (табл.4) как по сезонам, так и за весь навигационный период аналогично распределению средних скоростей ветра.

Таблица 2

Повторяемость направлений ветра средняя
для разреза о-в Жесткий - о-в Кулалы (в %)

Месяц	Направление ветра								
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
Апрель	6,8	18,6	27,5	9,2	6,4	8,7	8,0	7,6	7,2
Май	7,0	15,8	23,0	9,6	5,8	9,6	10,7	10,1	8,4
Июнь	7,3	13,0	12,4	5,6	4,4	13,0	16,6	17,4	10,3
Июль	12,0	14,7	14,6	3,3	3,5	10,2	14,7	16,8	10,2
Август	10,8	13,0	17,6	7,0	4,0	10,1	10,2	14,6	12,7
Сентябрь	9,4	11,0	21,5	11,8	3,6	7,3	9,0	13,0	13,4
Октябрь	5,8	8,0	22,6	12,8	3,8	6,2	14,6	13,6	12,6
Ноябрь	6,8	12,0	32,6	15,2	2,9	4,7	8,4	9,2	8,2
Сумма	65,9	106,1	171,8	74,5	34,4	69,8	92,2	102,3	83,0
Среднее	8,2	13,2	21,5	9,3	4,3	8,7	11,6	10,4	12,8

Для восточной части Северного Каспия стгонными являются северные, северо-восточные и восточные ветры, нагонными - ветры всех остальных направлений. Повторяемость стгонных и нагонных ветров за рассматриваемый период примерно одинакова и оставляет соответственно 42,9% и 44,2%. Величины водообмена (табл.5) для каждого направления ветра рассчитывались по составленной нами формуле

$$W = T \cdot \sum_0^{n=i} S_n \bar{v}_n \cos \alpha,$$

- где W - объемы воды, м³;
 T - продолжительность ветра на разрезе, сек.;
 S_n - площади водного сечения между скоростными вертикалями, м²;
 \bar{v}_n - средние скорости течений между вертикалями, м/сек.;
 $n = 0, 1, 2, 3, \dots, i$ - номера скоростных вертикалей (0, 1 - урезы воды);
 α - угол между направлением течения и нормалью к разрезу.

Таблица 3

Средние скорости ветра на разрезе
о-в Жесткий - о-в Кулалы (в м/сек.)

Месяц	Направление ветра								Сред- ние
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
Апрель	6,0	6,6	6,8	6,2	6,2	5,6	6,4	5,8	6,2
М а й	5,2	6,4	6,6	6,1	5,6	5,2	6,2	6,2	5,9
Июнь	6,2	5,6	5,1	5,0	4,4	4,6	5,2	6,0	5,3
Июль	4,6	5,0	5,0	4,2	4,0	4,6	4,8	5,2	4,8
Август	4,9	5,1	5,7	5,1	4,9	4,6	5,0	5,3	5,1
Сентябрь	5,0	5,3	5,4	5,4	5,2	4,6	6,1	6,0	5,4
Октябрь	5,2	5,1	5,3	5,0	4,4	4,7	7,2	6,6	5,6
Ноябрь	5,4	5,5	6,2	5,9	5,4	4,3	7,8	7,6	6,0
Средние	5,3	5,6	5,8	5,4	5,0	4,7	5,8	5,9	-

Таблица 4

Средние скорости течений на разрезе
о-в Жесткий - о-в Кулалы (в м/сек.)

Месяц	Направление течений								Сред- ние	
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Сумма	Сред- ние
Апрель	0,12	0,15	0,12	0,11	0,13	0,14	0,12	0,10	0,99	0,12
М а й	0,10	0,15	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,95	0,12
Июнь	0,13	0,13	0,09	0,09	0,08	0,11	0,10	0,11	0,84	0,10
Июль	0,08	0,11	0,09	0,06	0,08	0,11	0,10	0,09	0,72	0,09
Август	0,09	0,11	0,10	0,09	0,10	0,11	0,11	0,10	0,81	0,10
Сентябрь	0,09	0,12	0,10	0,10	0,10	0,12	0,12	0,11	0,86	0,11
Октябрь	0,10	0,11	0,10	0,09	0,08	0,12	0,13	0,12	0,85	0,11
Ноябрь	0,10	0,12	0,12	0,10	0,11	0,10	0,14	0,14	0,93	0,12
Сумма	0,81	1,00	0,84	0,75	0,80	0,93	0,94	0,88	6,95	-
Средние	0,10	0,12	0,10	0,09	0,10	0,12	0,12	0,11	-	-

Таблица 5

Водообмен между восточной и западной частями Северного Каспия (в км³)

Направ- ление	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Сумма	Средний
С	-7,41	-6,24	-8,39	-9,68	-9,55	-7,98	-5,57	-6,31	-61,13	-7,64
СВ	-29,04	-25,31	-17,47	-18,38	-16,18	-13,46	-9,67	-15,74	-145,25	-18,15
В	-24,42	-20,90	-8,27	-10,20	-13,26	-16,23	-16,92	-27,93	-138,13	-17,20
ЮВ	+6,01	+6,32	+2,96	+1,38	+3,94	+6,90	+7,15	+9,52	+44,19	+5,52
Ю	+5,23	+4,40	+2,12	+1,60	+2,45	+2,20	+1,89	+1,93	+21,82	+2,73
ЮЗ	+12,68	+13,42	+15,48	+12,72	+12,65	+9,48	+8,10	+4,96	+89,49	+11,19
З	+11,07	+15,38	+20,11	+17,54	+12,47	+12,60	+22,96	+12,91	+125,04	+15,63
СЗ	+2,67	+3,86	+6,53	+5,38	+4,97	+4,79	+5,56	+4,11	+37,87	+4,73
$\Sigma -$	60,87	52,45	34,13	38,26	38,99	37,67	32,16	49,98	344,51	43,06
$\Sigma +$	37,66	43,38	47,20	38,63	36,48	35,97	45,66	33,43	318,41	39,80
$\Delta \Sigma$	-23,21	-9,07	+13,07	+0,37	-2,51	-1,70	+13,50	-16,55	-26,10	-3,26

При вычислении водообмена (см. табл. 5) условно принято, что объемы воды, поступающей в восточную часть Северного Каспия из западной, имеют знак плюс, а в западную из восточной — минус. Общий водообмен за навигационный период оставляет $\pm 345 \text{ км}^3$. Объемы воды, поступающей из западной части в восточную и, наоборот, из восточной в западную — оказались примерно равными. За весь навигационный период в западную часть поступило лишь на $26,1 \text{ км}^3$ воды больше, чем в восточную. Наибольшей величины водообмен достигает в апреле (61 км^3), затем постепенно снижается, падая до минимума в сентябре (37 км^3), и потом снова увеличивается до 50 км^3 в ноябре. Среднемесячный водообмен за навигационный период составляет 43 км^3 .

Выводы

1. Повторяемость течений в значительной степени зависит от продолжительности действия и скорости ветра. При двухчасовом ветре, имеющем скорость больше 10 м/сек. , повторяемость течений определенного направления равна 100% ; при восьмичасовом ветре, имеющем скорость до 5 м/сек. , — 96% .

2. Связь между скоростью ветра и скоростью течения не является прямолинейной. График зависимости скорости течения от скорости ветра представляет собой степенную функцию в нижней части и экспоненциальную — в верхней.

3. Течение, улавливаемое приборами, возникает в поверхностном слое при скорости ветра 2 м/сек. , а у дна — при скорости 3 м/сек.

4. Водообмен между западной и восточной частями Северного Каспия, вычисленный по данным натуральных наблюдений над ветром и течениями, определяется главным образом ветровым режимом и составляет $\pm 345 \text{ км}^3$ за навигационный период, т.е. примерно равен общему объему Северного Каспия.

5. Максимальной величины водообмен достигает в апреле, минимальный — в сентябре.

Список использованной литературы

- Аполлов Б.А., Евсеева Л.С., Косарев А.Н. Динамика вод. - "Каспийское море". М., изд. МГУ, 1969, с.
- Клевцова Н.Д. Поверхностные течения в средней и южной частях Каспийского моря при различных полях ветра. - "Океанология", 1966, т.6, вып.1, с.82-88.
- Линейкин П.С., Фельзенбаум А.И. Теория и расчеты ветровых течений Северного Каспия. - "Труды ГОИН", 1955, вып.20, с.454-470.
- Резеплинский Г.В. Течения и водообмен в Каспийском море. - "Труды ГОИН", 1955, вып.20, с.396-453.
- Скриптунов Н.А. Гидрология преддельтового взморья Волги. М., Гидрометеоиздат, 1958, 142 с.
- Скриптунов Н.А. Течения на Мангышлакском пороге (Северный Каспий) - "Труды ГОИН", 1964, вып.78, с.7-21.
- Скриптунов Н.А. Статистический анализ стационарных наблюдений над течениями в Каспийском море. - "Труды ГОИН", 1970, вып.98, с.195-202.

Currents and water exchange between the west
and east parts of the North Caspian Sea

Yu. I. Kompaniets

S u m m a r y

The frequency of currents depends, largely, on the duration of the action of wind and its speed. The relationship between the wind and current speeds is not linear; the diagram plotted shows a power function for the wind speed of less than 10 m/sec. and an exponential function for the wind speed of higher values. The water exchange between the west and east areas of the North Caspian Sea is associated with the wind regime and constitutes $\pm 345 \text{ km}^2$, the maximum being in April and the minimum in September.