

В. Б. ШТОКМАН

**ПОЛНЫЙ ПОТОК ДРЕЙФОВОГО ТЕЧЕНИЯ В СРЕДНЕЙ И ЮЖНОЙ  
ЧАСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ**

*(Представлено академиком Ю. М. Шокальским 25 IV 1939)*

В море, как известно, имеют место три типа неперриодических течений— дрейфовое, градиентное и конвекционное. В замкнутом и стратифицированном водоеме, как является Каспийское море, указанные течения встречаются одновременно, наслаиваясь друг на друга и образуя комплексный поток. Теоретически каждый из отмеченных трех типов течений в отдельности может быть качественно и количественно изучен известными гидродинамическими методами. К сожалению применение этих методов в конкретных условиях возможно при специальных ограничениях, чрезвычайно затрудняющих порой их использование в условиях Каспийского моря, не говоря уже о том что еще большие трудности встречаются на пути аналитического исследования комплексного потока в реальных условиях.

В настоящем сообщении мы остановим наше внимание на одной из компонент комплексного потока в Каспийском море—чисто дрейфовом течении, играющем немаловажную роль в общей горизонтальной циркуляции вод этого замкнутого водоема. Поле дрейфовых течений на Каспийском море можно изучать двояким путем, рассматривая эту компоненту комплексного потока изолированно от других. Первый путь заключается в построении линии тока ветрового течения, например для поверхности моря. Для этой цели необходимо знать не только абсолютную скорость ветрового течения, которую можно высчитать на основании ветрового коэффициента, надежно определенного для Каспийского моря Н. Н. Струйским<sup>(1)</sup>, но и знать угол отклонения поверхностного течения от направления ветра. К сожалению этот последний весьма непостоянен и может принимать самые разнообразные значения в зависимости от характера изменения коэффициента турбулентного трения в морской воде—величины, в свою очередь чрезвычайно трудно поддающейся достоверному определению. Попытки установления эмпирических зависимостей между направлением ветра и направлением дрейфового течения для некоторых морей (в том числе и для Каспийского моря) привели до настоящего времени к надежным числовым результатам. Вот почему более целесообразным является второй путь исследования чисел дрейфовых течений в Каспийском море, заключающийся в изучении полного, результирующего дрейфового потока, который совершенно не зависит от характера изменения турбулентного трения и механизма турбулентности.

Согласно Экману направление полного дрейфового потока в море, глубина которого превышает глубину трения, составляет угол  $90^\circ$  с направлением ветра (вправо от ветра для северного полушария), а величина  $S$  этого потока равна:

$$S = \frac{\tau_0}{2\omega \sin \varphi}, \quad (1)$$

где  $\tau_0$  — тангенциальное давление ветра на поверхности моря,  $\varphi$  — широта места,  $\omega$  — угловая скорость вращения Земли. Величину результирующего дрейфового потока можно вычислять на основе элементов градиентного ветра, руководствуясь распределением атмосферного давления над акваторией изучаемой области моря.

Подобного рода вычисления, проделанные Монтгомери<sup>(2)</sup> для северной части Атлантического океана, дали весьма интересные результаты. Этот путь однако помимо некоторой сложности менее надежен по сравнению с непосредственным вычислением полного дрейфового потока на основе результирующей ветра по наблюдениям в открытом море. В настоящем для Каспийского моря мы располагаем многочисленными и многолетними наблюдениями над ветром, осуществленными на судах в различных частях этого водоема, благодаря чему представилась возможность вычислить элементы результирующей ветра для 12 месяцев года, отнеся эти элементы к центру квадратов (со сторонами  $1^\circ$ ), на которые была разбита акватория Каспийского моря. Эта важная работа была проделана В. И. Пришлецовым.

Базируясь на элементах результирующего ветра, мы вычислили полные дрейфовые потоки для центра каждого квадрата по формуле (1), в которой величина  $\tau_0$  определялась из известного эмпирического соотношения:

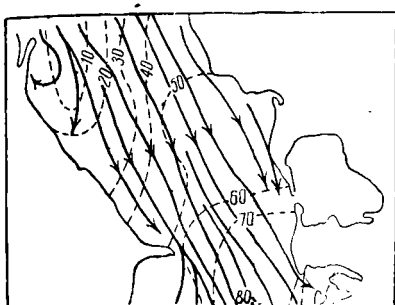
$$\tau_0 = \rho' \gamma^2 W^2, \quad (2)$$

где  $\rho' = 1.3 \cdot 10^{-3}$  — плотность воздуха, а  $\gamma$  — безразмерный коэффициент, зависящий от шероховатости подстилающей поверхности и высоты над уровнем моря, на которой измерялась скорость ветра. В нашем случае мы полагали  $\gamma = 5.45 \cdot 10^{-7}$ .

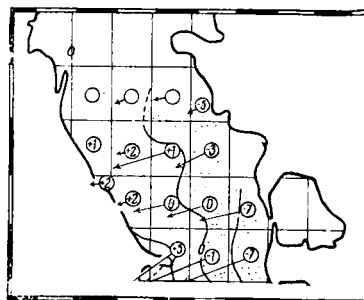
Мы применяли формулу (1) к тем квадратам Каспийского моря, средняя глубина моря в которых заведомо с некоторым запасом превышала верхнюю глубину трения. К сожалению в настоящем кратком сообщении мы лишены возможности остановиться на детальном обосновании избранного нами коэффициента пропорциональности в квадратичной зависимости между тангенциальным давлением ветра на поверхности моря и его скоростью. За недостатком места мы также не имеем возможности привести все 12 карт, на которых указано распределение полных дрейфовых потоков по месяцам года и построенных нами на основе результирующей ветра. Мы ограничимся здесь лишь общей характеристикой полученных нами результатов.

Полные потоки дрейфового течения на Каспийском море были выражены в кубических дециметрах в секунду и представляют собой количество воды, переносимое через вертикальное сечение шириной в 1 дм, перпендикулярное результирующему потоку, глубина которого равна глубине трения (около 25 м). На построенных нами картах полные потоки были изображены векторами, приложенными к центру каждого квадрата. На основе элементов полного потока ветрового течения были вычислены затем величины конвергенции или дивергенции потока для каждого квадрата в дм/сутки. В качестве иллюстрации к сказанному на фиг. 1 указана схема линии тока результирующего ветра над Каспийским морем, а на фиг. 2 приведена карта с распределением полных дрейфовых потоков в среднем и южном Каспии для того же периода. На фиг. 1 помимо линии

тока результирующего ветра нанесены изолинии устойчивости направления ветра в процентах. Области дивергенции на фиг. 2 указаны пунктиром, а числовые значения дивергенции (со знаком минус) и конвергенции (со знаком плюс) указаны в округлении до дцм/сутки в кружках, помещенных в центре каждого квадрата. В тех случаях, когда полный дрейфовый



Фиг. 1.



Фиг. 2.

поток оказывался настолько большим, что не мог быть изображен непрерывным вектором в принятом масштабе, поток изображался вектором с указанием длины последнего в мм (1 мм = 1 дцм<sup>3</sup>/сек.).

О величине вертикальных составляющих течения, обусловленных дивергенцией или конвергенцией в поле результирующего дрейфового потока, можно приблизительно судить по величинам дивергенции и конвергенции, указанным на фиг. 2.

Рассмотрение построенных нами карт привело нас к заключению, что области дивергенции преимущественно (в течение года) примыкают к восточному берегу среднего и южного Каспия, в то время как области конвергенции главным образом прижаты к западному и южному побережью моря. В летние месяцы (особенно в июле) дивергенция у восточного берега среднего Каспия наиболее ярко выражена. Компенсация дивергенции, иначе говоря, скорость восходящих там течений при условии, что глубинные слои воды неподвижны, достигает в июле в некоторых квадратах максимальной в течение года величины. Очевидно, что следствием дивергенции у восточного берега среднего Каспия должно являться относительное похолодание поверхностного слоя воды в летнее время года, что прекрасно подтверждается картами среднемесячных изотерм на поверхности Каспийского моря. На фиг. 3 приведены изотермы в июле для средней части моря. Действительно, как и следовало ожидать, различие между температурами воды у восточного и западного берега среднего Каспия особенно ярко выражено в июле, именно в то время летнего периода, когда дивергенция в дрейфовом потоке достигает максимальных значений, а направление ветра обладает наибольшей устойчивостью (см. фиг. 1 и 2). Весьма любопытно, что устойчивая область дивергенции у восточного



Фиг. 3.

берега среднего Каспия совпадает с прибрежной областью повышенной донной продуктивности (бентос) в том же районе моря и хорошо известной гидробиологам. Это совпадение вряд ли случайно. Устойчивые восходящие течения могут являться немаловажным фактором, способствующим развитию донного населения в указанном районе моря путем обогащения поверхностного слоя биогенными элементами, поднятыми из более глубоких слоев. По самым ориентировочным подсчетам общее количество воды, поднимающейся в июле из слоев ниже глубины трения у восточного берега среднего Каспия, составляет около  $231 \text{ км}^3$ , что немногим отличается от среднего годового дебита р. Волги ( $261 \text{ км}^3$ ). Приведенная цифра характеризует вероятно максимальную величину общего количества воды, поднимающейся вверх из глубоких слоев у восточного берега среднего Каспия в указанный период времени.

Всесоюзный научно-исследовательский институт  
морского рыбного хозяйства и океанографии.  
Москва.

Поступило  
29 IV 1939.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Н. Н. Струйский. Связь между действующим ветром и поверхностным течением, Зап. по гидрографии, т. 63 (1930). <sup>2</sup> R. B. Montgomery, Papers in Phys. Ocean a. Met., IV, № 3, Cambridge, Mass. (1936).