

В. В. ШУЛЕЙКИН, член-корреспондент Академии Наук СССР

К ТЕОРИИ МУССОНОВ

III. РОЛЬ РАЗМЕРОВ И ФОРМЫ МОРЯ И МАТЕРИКА

В двух предыдущих частях теории муссонов^(1, 2) были исследованы различные элементы муссонных потоков применительно к круглой форме моря, окруженного бесконечно простирающимся материком, или материка, обрамленного бесконечно простирающимся океаном. В настоящей статье попытаемся, во-первых, выяснить количественную связь между размером моря (или материка) и такими важными элементами муссонного поля, как максимальная скорость ветра или характеристическая разность температур между самой теплой точкой моря и самой холодной—материка; во-вторых, исследуем муссонное поле применительно к различным формам береговой линии, значительно отличающимся от окружности.

На основании уравнения (9) в статье (1) местная аномалия температуры τ выражается так:

$$\tau = N_1 \Theta. \quad (1)$$

Буквой N с различными индексами условимся обозначать коэффициенты, происхождение которых легко расшифровывается на основании цитированных статей. Ту же величину τ можно выразить иначе, пользуясь уравнением (14) из статьи (1) и уравнением (18) из моей работы о климате СССР и атлантических водах (3), только необходимо принять во внимание, что в (14) коэффициент температуропроводности в «безразмерной» системе K' выражается через коэффициент теплопроводности k не обычной формулой, а несколько иной: $K' = \frac{\rho \cdot k}{c \cdot \delta}$, где через ρ обозначен отрезок, принимаемый за единицу в (1) и равный $1/3$ радиуса моря. Также необходимо учесть, что согласно обозначениям, принятым в (1), придется в формулу (18) статьи (3) подставить вместо буквы q выражение $\frac{dq}{\rho \cdot dr}$; тогда окажется, что

$$\tau = N_2 \frac{\partial (U^2)}{\partial r}. \quad (2)$$

Но скорость U в любой точке прямо пропорциональна максимальной скорости U_{\max} . Следовательно на основании только что полученного (2) и соотношения (10) из статьи (1)

$$\tau = N_3 \frac{\Theta^2}{\rho^2}. \quad (3)$$

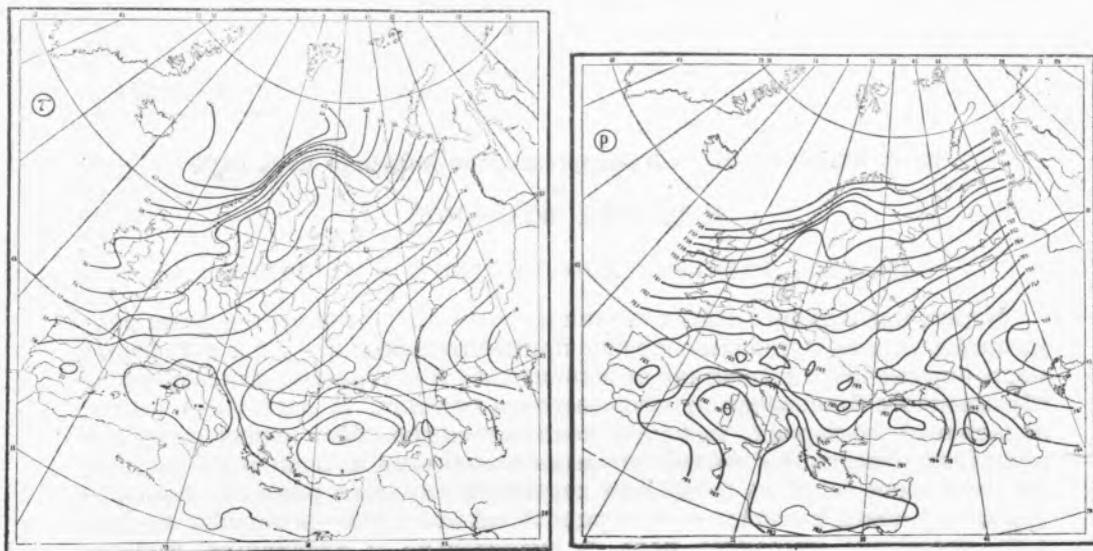
Сопоставление (3) с (1) дает для характеристической разности температур

$$\Theta = N_4 \rho^{\frac{3}{2}} \quad (4)$$

и после сопоставления (4) с уравнением (10) статьи(1):

$$U_{\max} = N_5 \sqrt{\rho}. \quad (5)$$

Итак, характеристическая разность температур Θ возрастает пропорционально полуторной степени размеров моря (или материка), а максимальная

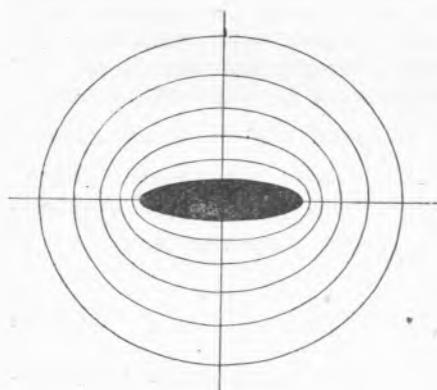


Фиг. 1.

скорость (а следовательно и скорости в любых точках)—пропорционально корню квадратному из размера моря (материка).

Для решения в т о р о й задачи, поставленной в настоящей заметке: для выяснения особенностей муссонного поля при различных формах береговой линии, вспомним соотношение (7) из (1), в которое применительно к природным условиям придется подставить τ вместо ϑ , записав его в форме:

$$\text{grad } p = -\Pi \cdot \text{grad } \tau. \quad (6)$$



Фиг. 2.

В полном согласии с этим важным соотношением в природе повсюду наблюдается поразительное сходство между картами климатологических изобар и картами температурных климатологических изаномал. Для примера на фиг. 1 изображены две такие карты (январские) для Европы. Но в таком случае неразрешимая задача о гидродинамическом поле какого-нибудь сложно очерченного моря или материка может быть сведена к задаче теплопроводности в поле изаномал [на основе методики статьи (3)].

Но в свою очередь задачи теплопроводности могут быть формально сведены к задачам электростатики, которые были решены Максвелл-

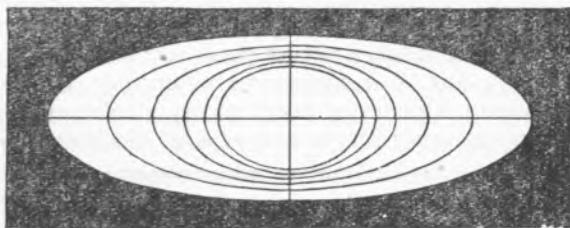
лом (4) для некоторых типичных случаев. Так например, эквипотенциальные линии, образованные в плоскости чертежа при ее пересечении с заряженным эллиптическим цилиндром, выражаются уравнением семейства:

$$\frac{x^2}{f^2 \operatorname{ch}^2 V} + \frac{y^2}{f^2 \operatorname{sh}^2 V} = 1, \quad (7)$$

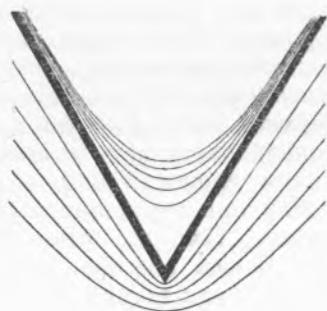
где потенциал поверхности проводника принят за единицу.

На фиг. 2 изображено такое семейство эквипотенциальных линий. Его с одинаковым успехом можно рассматривать и как поле изаномал, и как поле изобар, возникшее либо на море вокруг эллиптического материка либо на материке вокруг эллиптического моря. Нетрудно показать, что градиент давления над береговой чертой у «острой» вершины эллипса во столько раз превышает градиент у «тупой» вершины, во сколько раз большая ось эллипса превышает малую.

На фиг. 3 представлено поле над самим эллипсом: над эллиптическим морем или над эллиптическим материком*. В противоположность фиг. 2 здесь наибольший градиент оказывается направленным по малой оси, а наименьший по большой. В природных условиях картина, совершенно аналогичная фиг. 3, наблюдается над материком Австралии: изаномалы температуры располагаются над ним в полном согласии с теорией.



Фиг. 3.



Фиг. 4.



Фиг. 5.

Поле вокруг клина, ограниченного двумя прямолинейными сторонами, определяется максвелловским уравнением семейства изолиний в полярной системе координат с полюсом в вершине клина:

$$r^{2\pi-\alpha} \cdot \sin \frac{\pi\varphi}{2\pi-\alpha} = \text{const.} \quad (8)$$

Здесь r —радиус-вектор, φ —полярный угол, отсчитываемый от одной стороны клина, α —угол между прямыми, ограничивающими клин. В случае $\alpha = \frac{\pi}{3}$ изолинии протекают так, как представлено в нижней части фиг. 4.

* Посредине надо представить себе электрод, очерченный по окружности.

Сходная картина получится и при других значениях α , удовлетворяющих условию: $\alpha < \pi$.

Напротив, при $\alpha > \pi$ картина будет напоминать ту, которая приведена в верхней части фиг. 4, построенной применительно к частному случаю $\alpha = \frac{5}{3}\pi$. Нижняя часть фиг. 4 соответствует изаномалам или изобарам на море против выступающего острого мыса или же на материке вокруг глубоко врезавшегося залива. В то же время верхняя часть фиг. 4 отвечает изолиниям над самым мысом или над самим заливом.

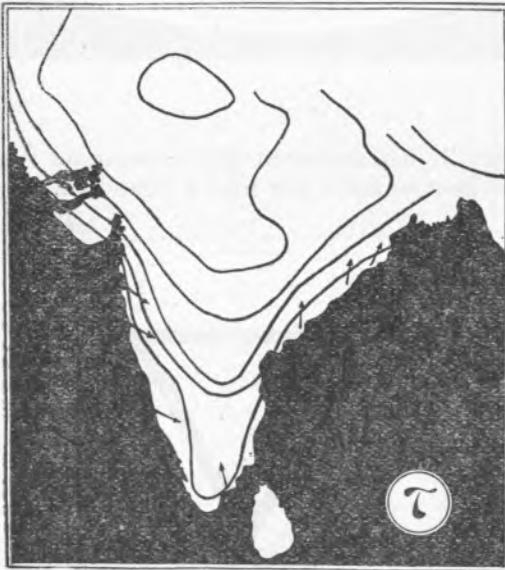
Как видим, в нижней части громадный градиент возникает против мыса (или против залива). В верхней части, напротив, над мысом или над заливом наблюдается наименьший градиент, наибольший же градиент намечается у спокойно протянувшихся берегов.

В природе не существует прямолинейно очерченных мысов. Но на основании общей теории поля любую подходящую по форме изолинию с фиг. 4 можно принять за очертание соответствующего мыса, тогда остальные изолинии охарактеризуют поле вокруг него (или на нем).

На фиг. 5 изображены изолинии, найденные для объекта с тремя вершинами. Внешняя часть фигуры соответствует полю вокруг этого объекта, а внутренняя полю над самим объектом (морем или материком). Так же,

как и в случае фиг. 4, любая подходящая изолиния может быть принята за береговую линию.

Особенности муссонного поля, отмечаемые теорией для клинообразного полуострова или залива, легко могут быть продемонстрированы в природе хотя бы на примере Индии. На фиг. 6 воспроизведены изаномалы апреля для Индии, построенные Ершовой. Как видим, они протекают совершенно подобно тем изолиниям, которые нанесены в верхней части фиг. 4 и во внутренней части фиг. 5: всюду над мысом градиент мал, а у спокойно простирающихся берегов велик. Следует отметить на фиг. 6 еще два обстоятельства, важных для теории. Во-первых, крайняя изаномала здесь про-



Фиг. 6.

ходит очень близко к причудливой береговой черте. Следовательно, применяя метод электростатических аналогий, мы совершенно законно рассматривали береговую линию как одну из «эквипотенциальных» линий семейства. Во-вторых, стрелки, изображающие на фиг. 6 средние направления ветра в апреле, всюду составляют угол 45° с направлениями градиента температурной аномалии. С другой стороны, по теории они обязаны составлять угол 45° с градиентом давления. Отсюда вытекает новое подтверждение основного положения теории (6), в котором Π — некий скаляр.

Проверив теорию на таких характерных объектах, как Индия и Австралия, обратимся к еще более характерному третьему природному объекту: к мысу Горн. Как известно, там, против южной оконечности Южноамер-

риканского материка, и летом и зимой свирепствуют постоянные штормы, продолжающиеся целыми месяцами. Нетрудно показать, что это настоящие муссонные штормы. Разумеется, аналитическое определение элементов поля против такого сложного объекта, как оконечность Южной Америки, совершенно невыполнимо. Однако метод электрических аналогий позволил решить здесь задачу путем следующего простого эксперимента. Очертания Южноамериканского материка снимались с карты, и по ним выгибалась металлическая лента в 10 мм высотой. Полученный таким образом цилиндрический электрод ставился на стеклянное плоское дно круглого низкортного сосуда. Металлический борт этого сосуда (высотой 15 мм) являлся вторым электродом. В сосуд наливалась водопроводная вода восьмимиллиметровым слоем, и электроды приключались к маленькой индукционной катушке, параллельно с концами реохорда мостика Уитстона. К движку мостика был присоединен один провод телефонной трубки, другой провод которой кончался тонким проволочным зондом, опущенным отвесно в сосуд на том или ином расстоянии от «берегов Америки». Ставя движок мостика Уитстона на некотором определенном месте, через равные промежутки, и вода зондом в воде, легко можно было посредством зонда найти вокруг «материка» такие точки, которым соответствовал наименьший шум в телефонной трубке. Эти точки очевидно лежали на эквипотенциальной линии, отвечавшей данному положению движка. На фиг. 7 изображено семейство эквипотенциальных линий, найденных таким путем*. Сплошные линии проведены через 0.1 от полного перепада потенциала между электродами сосуда. Пунктирная линия соответствует 0.05 от него.

Как видим, у южной оконечности «материка», у мыса Горн, действительно происходит исключительное сгущение изолиний. Градиент потенциала на модели, а следовательно градиент температурной аномалии и градиент давления в природных условиях, здесь в 20 раз превышает соответствующий градиент во впадине Чилийской береговой черты.

Так зарождаются постоянные муссонные штормы у мыса Горн. Таково же происхождение штормов и крепких ветров, наблюдаемых постоянно у мыса Доброй Надежды (Африка), у мыса Фаруэли (Гренландия) и у других остроконечных мысов. На основе изложенного становится понятным и зарождение тайфунов в Южно-китайском море: громадный материк Азия там оканчивается целым шлейфом островов, ведущим к повышению градиентов. На границах мощных воздушных потоков здесь должны возникать чрезвычайно мощные завихрения—тайфуны.

Институт теоретической геофизики.
Академия Наук СССР.
Черноморская гидрофизическая станция.

Поступило
3 X 1937.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. В. Шулейкин, ДАН, XV, № 6—7, 321 (1937). ² В. В. Шулейкин, ДАН, XVI, № 6, 313 (1937). ³ В. В. Шулейкин, ИМЕН, № 8—9, 997 (1935).
⁴ J. C. Maxwell, Treatise on Electricity and Magnetism.

* Таким же путем были построены изолинии фиг. 5.



Фиг. 7.

