

ГЕОФИЗИКА

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

О ФИЗИЧЕСКИХ КОРНЯХ ПОГОДЫ

Широко распространенные современные методы синоптики трактуют почти исключительно о механических взаимодействиях разнородных воздушных масс в гравитационном поле. Далеко на заднем плане остаются обычно процессы термодинамические, т. е. именно те процессы, которые порождают движение всех этих масс воздуха. Вот почему самым слабым местом современной синоптики является крайне туманное учение о «трансформациях» воздушных масс, в частности, о физических корнях и о механизме резкого выхолаживания, а тем более — резкого местного перегрева той или иной воздушной массы. По той же причине от синоптического анализа ускользают основания той закономерной «ритмичности», с которой идет смена потепления и похолодания воздуха над морем и над материком; ускользает объяснение явно выраженной противоположности фаз между поведением воздушных масс над первой и над второй из этих подстилающих поверхностей (см. фиг. 1 и 2).

Между тем исследование тепловых процессов в атмосфере нередко позволяет обойти трудности, непреодолимые для чисто гидродинамического анализа, в чем можно убедиться на примере исследований муссонного поля, сделанных в нашей стране.

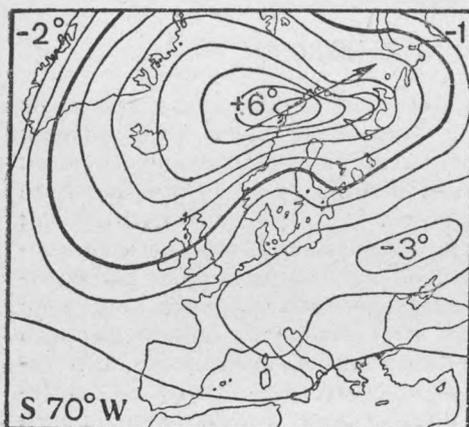
§ 1. В самом деле, ведь непосредственные измерения скоростей и направлений ветра на различных высотах над уровнем моря очень редко позволяют выделить в чистом виде муссонные составляющие ветров, особенно в верхнем ярусе муссонного слоя: столь велики составляющие ветра, налагающиеся на них благодаря наличию других упорядоченных, а чаще — беспорядочных, течений в атмосфере*.

Однако о деятельности муссона можно в настоящее время составить хорошее количественное представление, исследуя тепловые потоки в муссонном поле. Как нам удалось показать (¹⁻⁴, ⁷), подобное исследование приводит не только к числовым характеристикам температурного режима атмосферы, хорошо совпадающим с результатами непосредственных измерений в природе, но и к числовым характеристикам преобладающих ветров на берегах моря, столь же хорошо вяжущимся с природной картиной.

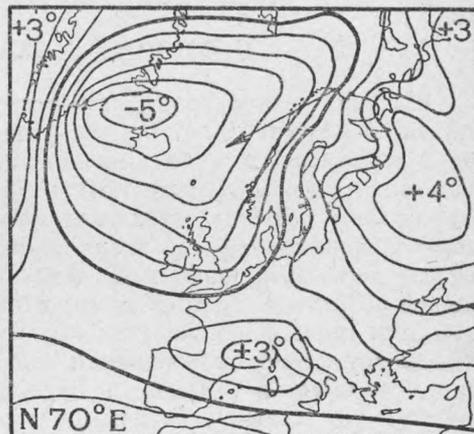
* Муссонные составляющие очень отчетливо проявляются в прибрежной полосе в нижнем ярусе, заключенном между подстилающей поверхностью и «высотой трения». Так как коэффициент турбулентного перемешивания быстро увеличивается с высотой, то верхний ярус муссонного потока неминуемо должен быть растянут вверх и в значительной мере размыт. Однако и в этом верхнем ярусе, даже далеко от берега, упорядоченный муссонный поток дает о себе знать по тепловым признакам подобно тому, как упорядоченное движение электронов в металле, вызванное электрическим полем, дает о себе знать, несмотря на налагающееся на него мощное хаотическое тепловое движение частиц.

Объединяющим звеном между соотношениями тепловыми и гидродинамическими явилась теоретическая ⁽²⁾ формула, связывающая между собой горизонтальные градиенты давления p и температурной аномалии τ : $\text{grad } p = -\Pi \text{ grad } \tau$.

Коэффициент Π , размерность которого не нуждается в пояснениях, выражен в теории через элементы, поддающиеся непосредственному измерению. Применение этой основной формулы теории муссонов к решению разнообразных задач позволяет, путем сравнения теоретических выводов с результатами непосредственных измерений, вычислять Π несколькими способами, совершенно не связанными между собой. Чрезвычайно замечательно, что результаты подобных вычислений всегда приводят к числовому значению Π , близкому к одной и той же величине: $1,6 \cdot 10^3 \text{ cgs}$.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

Как эти, так и многочисленные другие подтверждения нашей теории тепловых потоков в атмосфере дают нам смелость утверждать, что распространение этой теории на нестационарные процессы, в атмосфере над морем и над материком, позволит в значительной мере восполнить отмеченные выше пробелы в современном учении о погоде. На первых этапах наилучших результатов следует ожидать для анализа зимней погоды: ведь в зимнее время года в холодном и умеренном поясе наибольшая часть потерь на обратную тепловую радиацию компенсируется не падающей лучистой энергией, а горизонтальными тепловыми потоками в атмосфере.

§ 2. Одной из составляющих таких потоков является составляющая муссонного происхождения, играющая громадную роль на нашей европейской территории (особенно в ее северо-западной области). Как было нами в свое время показано ⁽⁵⁾, возмущение режима этой составляющей может породить на большом протяжении стоячие термобарические волны в муссонном поле: тепло, черпаемое атмосферой в некотором определенном районе от муссонного потока, периодически то увеличивается, то уменьшается, в зависимости от фазы колебаний. Благодаря этому периодически меняются и температура, и давление в каждом пункте.

Семейство изоплет, которые выражают отклонение θ температуры от стационарного состояния, описывалось в теории ⁽⁵⁾ формулой: $\theta = AI_1(kr) \cos(\sigma t + \psi + \epsilon)$, в которой символ I_1 обозначает бесселеву функцию, r и ψ — полярные координаты, t — текущее время.

В цитированной работе (5) была приведена схематическая карта изоплет, построенная по этой формуле, для той фазы, когда узловой диаметр проходит по генеральному направлению границы между Европой и Атлантикой*. Наша теоретическая карта изоплет чрезвычайно близко напоминает две типичные схемы Сандстрема (6) (фиг. 1 и 2).

Недавно Осмоловская (8) доказала, что в интересующих нас процессах смена фаз действительно происходит примерно по периодическому закону, который можно иллюстрировать хотя бы одним из ее чертежей, воспроизведенным на фиг. 3. Сплошная кривая характеризует ход давления, а пунктирная — ход температур в одном и том же пункте материка.

Замечательно, что период колебаний здесь оказался равным примерно 8 дням, т. е. той же величине, которую дала (5) наша теоретическая формула:

$$T = 1,64 \rho \sqrt{\frac{\delta}{m\Pi\Theta}}$$

при подстановке в нее значений радиуса ρ узловой окружности, плотности δ воздуха, осредненной разности температур Θ между воздухом верхнего и нижнего яруса муссонного слоя и константы Π , о которой говорилось выше. Так же замечательно, что, сравнивая между собой амплитуды колебаний давления и колебаний температуры, по диаграммам Осмоловской можно получить числовые значения, вполне согласные с цифрой, уже упомянутой в настоящей статье: именно, числовые значения $1,61—1,69 \cdot 10^3$ cgs. Но ведь карты температурных изоплет, построенные Сандстромом для 36 различных направлений ветра у Лофотена, основаны на материале 10-летних наблюдений. Следовательно, их надо рассматривать теперь как характеристики типичных фаз погоды в системе Атлантика—Европа, как характеристики тех самых фаз, которые даны во времени на диаграммах Осмоловской.

А если это так, то, по крайней мере в исследованном районе, сам процесс смены погод следует рассматривать как процесс термобарических стоячих волн («сейш») внутри контуров, определяемых какими-то узловыми линиями на земном шаре. Само расположение этих узловых линий, очевидно, диктуется различными неоднородностями подстилающей поверхности: границами морей, проявляющих свою тепловую инерцию, некоторыми горными хребтами, крупными островами и архипелагами, выделяющимися на поверхности океана, и другими географическими объектами.

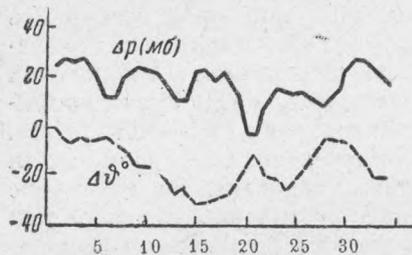
§ 3. По всей вероятности к подобным же термобарическим «сейшам» приводят возмущения другой составляющей полного теплового потока, пронизывающего атмосферу в горизонтальном направлении: возмущения междуширотного теплового потока, обусловленного общей циркуляцией атмосферы; здесь тоже за некоторый промежуток времени воздух над одним районом может перехватить количество тепла, повышенное против средней нормы, и тем самым до некоторой степени обездолить другой район в тепловом отношении. Механическая инерция воздушных масс здесь снова помешает выравняться тем добавочным градиентам температуры и давления, которые возникнут от подобного перераспределения тепла. В результате — в одном районе на смену потеплению придет похолодание, а в связанном с ним после похолодания наступит потепление.

* Так как колебания происходят на вращающемся с земным шаром, то узловой диаметр и другие изоплеты должны непрерывно поворачиваться вокруг вертикальной оси, проходящей через центр узловой окружности. Так как, с другой стороны, в природе явно выражена направленность основного теплового потока (перпендикулярно к генеральной границе между океаном и материком), то в отличие от простой теоретической схемы для всех промежуточных фаз (заключенных между теми, которые воспроизведены на фиг. 1 и 2) следует ожидать более или менее сглаженной картины изоплет. Кадры Сандстрема вполне подтверждают это требование теории.

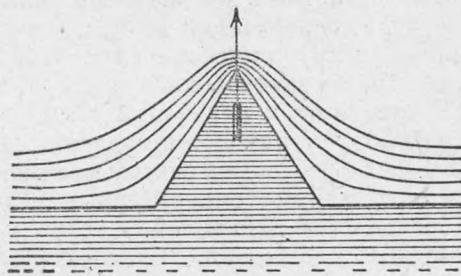
Сложность гидродинамической картины междуширотных потоков настолько велика, что сейчас нельзя еще говорить ни о каком математическом решении задачи, хотя бы по приближенной схеме работы (5). Однако совсем нетрудно доказать существование термобарических «сейш» в этой системе, определяя в различных точках страны отклонения от климатологической нормы и анализируя временной ход этих отклонений и их распределение на карте. Подобный анализ был нами проделан (9) применительно к январю 1940 г., ознаменовавшемуся, как известно, небывалыми морозами.

На фиг. 3 предыдущей статьи (см. выше стр. 323) воспроизведена одна из схематических карт, построенных в цитированной работе. Сплошными линиями проведены изоплеты отрицательных отклонений от стационарного режима, а пунктирными — изоплеты положительных отклонений.

Как видим, резкое похолодание в одном районе сопровождалось почти столь же резким потеплением в другом. С нашей точки зрения подобная картина является совершенно естественной и легко объяснимой. Напротив,



Фиг. 3.



Фиг. 4.

обычные методы современной синоптики не только не дают никаких оснований ожидать нарастание перегрева по соседству с областями, которые были охвачены суровыми морозами, но и само значение абсолютного минимума температуры в последних областях оказалось для синоптиков совершенно неожиданным: ведь температура воздуха в этих областях упала значительно ниже той, с которой воздушные массы пришли из Арктики.

Временной ход температуры воздуха в январе 1940 г. характеризуется резко выраженными колебаниями, причем фазы этих колебаний в различных районах Европейской части СССР находятся в полном согласии с нашим представлением о термобарических сейшах во вращающейся системе (9). Сопоставление этих колебаний с колебаниями температуры на станциях Исландии показывает, что в самом начале января колебания происходили, главным образом, в муссонном поле системы Атлантика—Европа. Затем, после 9 января, повидимому, на сцену вступили постепенно нарастающие колебания междуширотного теплового потока, которые по всей вероятности попали в резонанс с колебаниями первого рода, а потому и привели к исключительному обострению колебательного процесса 15, 16 и 17 января.

Нет надобности доказывать ту пользу, которую принесет анализ термобарических волн делу прогнозов погоды, когда удастся в различных областях вскрыть основные колебательные системы и особенно когда будут найдены причины и поводы к различным отклонениям от нормального хода колебательных процессов в этих системах.

§ 4. Сейчас еще рано говорить обо всех подобных причинах и поводах, но уже и в настоящее время начинают вырисовываться некоторые штрихи будущей картины. Прежде всего совершенно очевидно, что «входными воротами» для всевозможных вторжений с океана на материк должны (как правило) служить различные окраинные моря, заливы, губы, которые вдаются

острым клином в материк и тем самым повышают ⁽⁴⁾ местное напряжение муссонного поля, как показывает, например, теоретическая схема фиг. 5 (где море заштриховано).

Очень важно отметить, что это положение нашей теории вполне согласуется с результатами интересных и многочисленных исследований И. И. Касаткина над распределением дождливости и с результатами изентропического анализа американской школы Россби; первый из цитированных авторов обнаружил постоянные вторжения морских воздушных масс на нашу территорию через береговую черту беломорских заливов, Байдарцкой губы и других аналогичных образований; сотрудники второго цитированного автора обнаружили постоянные вторжения морского воздуха на североамериканский материк над береговой чертой Гудзонова залива.

С другой стороны, в настоящее время уже можно догадываться, что степень развития стоячих волн в термобарических колебательных системах так же связана с общей обстановкой в атмосфере, как развитие звука в акустических резонаторах связано с шумами в окружающей среде.

В самом деле ведь при выводе волнового уравнения в цитированной работе ⁽⁵⁾ мы считали все процессы адиабатическими; в действительности эти процессы сопровождаются излучением энергии в межпланетное пространство. Следовательно, без подвода энергии со стороны колебания в системе должны были бы более или менее быстро затухать. Подвод же энергии, очевидно, может протекать по двум путям: во-первых, непосредственно со стороны тепловых потоков, пронизывающих атмосферу в горизонтальном направлении; во-вторых, со стороны механических импульсов, получаемых системой, при возникновении бьеркнессовских, чисто гравитационных волновых возмущений на всевозможных поверхностях раздела между разнородными слоями воздуха.

Если частота этих импульсов будет соответствовать собственной частоте термобарических сейш, то последние будут достигать весьма большой амплитуды; в противном случае в системе может наступать временное успокоение колебаний (не исключена возможность и настоящих «биений»). На языке современной синоптики это будет означать, что тем самым определяется развитие, жизнеспособность и смерть циклонов, которые будут проявляться над «перегретой» областью, и антициклонов над областью «недогретой».

Черноморская гидрофизическая станция
Академии Наук СССР
Симеиз, Кацивели

Поступило
29 V 1940

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. В. Ш у л е й к и н, Изв. ОМЭН, № 8—9, стр. 997 (1935). ² В. В. Ш у л е й к и н, Изв. ОМЭН, стр. 277 (1937). ³ В. В. Ш у л е й к и н, ДАН, XVI, № 6 (1937). ⁴ В. В. Ш у л е й к и н, ДАН, XVII, № 7 (1937). ⁵ В. В. Ш у л е й к и н, ДАН, XXII, № 7 (1939). ⁶ Met. ZS., 43, 401 (1926). ⁷ В. В. Ш у л е й к и н, ДАН, XXIII, № 6 (1939). ⁸ Е. В. О с м о л о в с к а я, Изв. Акад. Наук СССР, сер. геогр. и геофиз., № 6, стр. 669 (1939). ⁹ В. В. Ш у л е й к и н, ДАН, XXVIII, № 4 (1940).