

ГЕОФИЗИКА

Н. И. ВУЛЬФСОН

**ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ ЗАСУШЛИВОСТИ НИЖНЕГО
ПОВОЛЖЬЯ, КАЗАХСТАНА И СРЕДНЕЙ АЗИИ**

(Представлено академиком А. А. Григорьевым 9 XII 1950)

Климатическая засушливость Нижнего Поволжья, Казахстана и Средней Азии в значительной степени может быть объяснена тем, что летом над указанной территорией преобладают мощные нисходящие воздушные течения, которые и обусловливают преимущественно малооблачную и сухую погоду. Таким образом, одной из основных причин общей летней засушливости юго-востока Европейской части СССР, Казахстана и Средней Азии можно считать циркуляционный механизм, приводящий к неизбежному опусканию воздушных масс над перечисленными областями.

Таким механизмом является ограниченно замкнутое циркуляционное кольцо, которое должно существовать летом над Северной Африкой и южными частями Европы и западной Азии. Предпосылками для образования этого кольца являются прежде всего мощные меридиональные течения, а именно:

1. Южный вынос воздушных масс, осуществляемый по западной периферии высотного африканского антициклона из районов Западной Африки и прилегающей части Атлантического океана в юго-западную Европу.

2. Общие северные течения над Передней и Средней Азией, а также над крайним юго-востоком Европейской части СССР и югом Западной Сибири, обусловленные влиянием обширной термической депрессии над Индостаном.

Указанные меридиональные потоки осуществляют как бы непосредственную связь между западными течениями в умеренных широтах и восточными в низких. Однако наиболее существенно то, что эти же меридиональные потоки должны определять и характер западных течений между ними как преимущественно нисходящих, поскольку вынос масс в юго-западную Европу осуществляется в верхних и средних слоях тропосферы, а обратный компенсационный отток в тропические широты, происходящий над Средней и Передней Азией, — в нижних.

Таким образом, вдоль огромной полосы, простирающейся от юго-запада Европы до Северного Казахстана, должны существовать нисходящие воздушные течения. Над территорией Советского Союза эти течения должны проявляться над юго-востоком и крайним югом Европейской части СССР, а также югом Западной Сибири, Казахстаном и Средней Азией.

Для проверки существования указанного циркуляционного механизма был произведен расчет незонального случая стационарной циркуляции атмосферы.

Горизонтальные составляющие скорости ветра находились из решения уравнений гидромеханики вязкой жидкости в виде (1)

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(v \frac{\partial M}{\partial z} \right) + 2i\omega \cos \theta M = \frac{1}{a} \frac{\partial p}{\partial \theta} - i \frac{1}{a \sin \theta} \frac{\partial p}{\partial \lambda}, \quad (1)$$

где $M = \rho(v_\theta - iv_\lambda)$, $i = \sqrt{-1}$.

Здесь a — радиус земли, z — высота, θ — дополнение широты, λ — долгота места, v_θ и v_λ — меридиональная и широтная составляющие скорости ветра, p — давление, ρ — плотность, ω — угловая скорость вращения земли, v — кинематический коэффициент виртуальной вязкости.

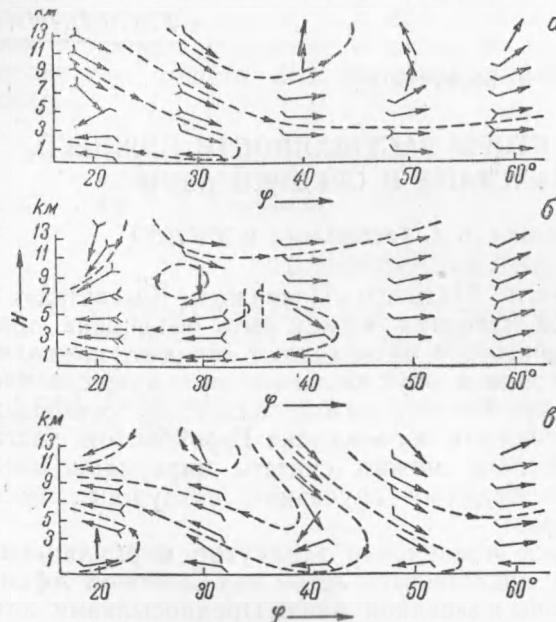


Рис. 1. Проекции июльских потоков на вертикальные плоскости. *а* — вдоль 0° ; *б* — вдоль 30° в. д.; *в* — вдоль 60° в. д.

Было принято, что внутри некоторого слоя толщиной h коэффициент турбулентности линейно растет с высотой ($v = cz$), а далее остается постоянным и что градиент давления неизменен с высотой. При указанных предположениях решение уравнения (1) будет (2): для $z \leq h$

$$M = DJ_0(\beta V zi) + EN_0(\beta V zi) + G; \quad (2)$$

для $z \geq h$

$$M = Ae^{-n(1-i)z} + Be^{n(1-i)z} + G. \quad (3)$$

Здесь A, B, D и E — произвольные постоянные интегрирования; J_0 — функция Бесселя нулевого порядка; N_0 — функция Неймана нулевого порядка; $\beta = \sqrt{\frac{8\omega \cos \theta}{c}}$, $n \sqrt{\frac{\omega \cos \theta}{v}}$, $G = -\frac{1}{2\omega \cos \theta} \left(\frac{1}{a \sin \theta} \frac{\partial p}{\partial \lambda} + i \frac{1}{a} \frac{\partial p}{\partial \theta} \right)$ — частное решение неоднородного уравнения (1).

Входящие в уравнения (2) и (3) произвольные постоянные определялись из системы уравнений

$$D + E \left(-\frac{2}{\pi} \ln \frac{2}{x_0 \gamma} + i \frac{1}{2} \right) + G = 0, \quad B = 0,$$

$$DJ_0(x_h V i) + EN_0(x_h V i) = Ae^{-n(1-i)h} + Be^{n(1-i)h}, \quad (4)$$

$$\frac{\beta V i}{2 V h} [DJ'_0(x_h V i) + EN'_0(x_h V i)] = -n(1-i) [Ae^{-n(1-i)h} - Be^{n(1-i)h}]$$

($x = \beta \sqrt{z}$, $\gamma = 1,7811\dots$ — постоянная Эйлера), составленных на основании следующих условий:

1. Прилипание частиц воздуха на условном уровне земли $M(z_0) = 0$.
2. Ограниченнность скоростей на бесконечности $M(\infty) = 0$.
3. Непрерывность функции M и ее производной на высоте $z = h$.

Вертикальные составляющие скорости ветра находились из уравнения неразрывности (3, 4):

$$v_z = -\frac{1}{\rho a \sin \theta} \int_{z_0}^z \left[\frac{\partial}{\partial \theta} (\rho v_\theta \sin \theta) + \frac{\partial}{\partial \lambda} (\rho v_\lambda) \right] dz. \quad (5)$$

Расчет производился при значениях $v = 600 \text{ м}^2/\text{сек.}$, $h = 300 \text{ м}$ и $z_0 = 3 \text{ м}$. Распределение давления и температуры считалось заданным. Соответствующие данные за июль были заимствованы для уровня моря из (5), для свободной атмосферы из (6). Таким образом, составляющие скорости ветра вычислялись по фактическим данным плотности и градиента давления в каждой точке на любом уровне.

На рис. 1 приведены меридиональные сечения потоков вдоль 0, 30 и 60° в. д. Указанные потоки изображены в виде векторов количества движения ρV , каждая черточка оперения которых обозначает 1 балл по шкале Бофорта, отнесенной к потоку массы. Пунктирными линиями представлены примерные проекции некоторых траекторий на меридиональные плоскости.

Как видно из рисунка, результаты расчета подтверждают существование рассмотренного выше циркуляционного механизма. На рис. 1а

достаточно ясно выражен мощный вынос воздушных масс из центральной Сахары в юго-западную Европу, а на рис. 1в — компенсационные северные течения в нижних слоях атмосферы, которые и вызывают вынужденное опускание масс над исследуемыми областями. Южные потоки вдоль 30-го меридiana (рис. 1б) своих истоков не имеют и являются как бы промежуточными между оттекающими из Западной Африки (рис. 1а) и опускающимися вдоль 60-го меридiana (рис. 1в).

Чтобы убедиться в том, что рассмотренный циркуляционный механизм действующих факторов засушливых

Рис. 3. Сопоставление интенсивности вычисленных вертикальных потоков с растительными зонами.
1 — зона смешанных и лиственных лесов; 2 — зона степей; 3 — зона полупустынь; 4 — зона пустынь;
5 — высокогорная область

тельно является одним из климатообразующих территорий, было произведено сопоставление средней интенсивности нисходящих течений в слое от поверхности земли до сред-

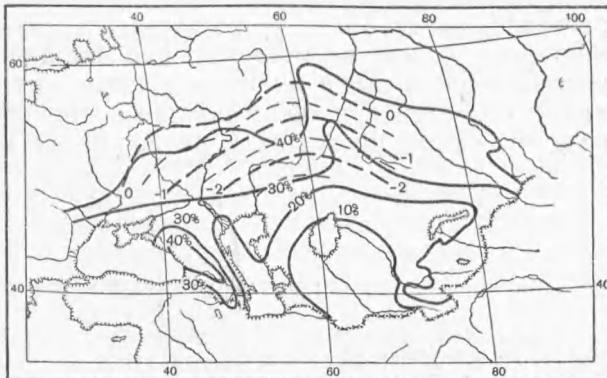


Рис. 2. Сопоставление интенсивности вычисленных вертикальных потоков (пунктирные линии) с вероятностью пасмурного неба в июле над засушливой областью (сплошные линии)

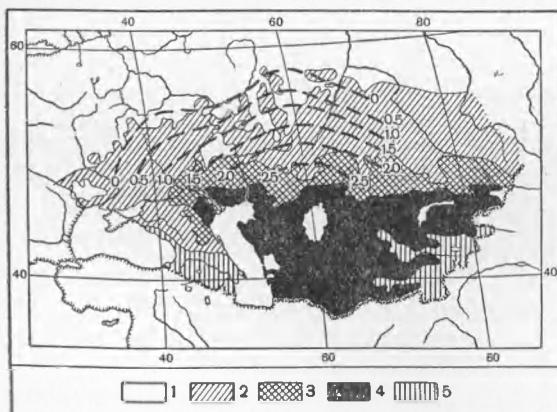


Рис. 3. Сопоставление интенсивности вычисленных вертикальных потоков с растительными зонами.
1 — зона смешанных и лиственных лесов; 2 — зона степей; 3 — зона полупустынь; 4 — зона пустынь;
5 — высокогорная область

него уровня перистых облаков с вероятностью пасмурного неба в июле и характером растительности в засушливых областях Советского Союза⁽⁵⁾ (рис. 2 и 3). Сопоставление производилось в поясе между 50 и 60° с. ш., так как в этой зоне осуществляется переход от незасушливых областей к засушливым. Пунктиром обозначены изолинии нисходящих течений с интенсивностью от 0 до 2,5 г массы воздуха, опускающегося в 1 сек. через 1 м² горизонтальной поверхности.

Оба рисунка достаточно отчетливо показывают, что и количество часов солнечного сияния и сухость возрастают в направлении усиления интенсивности нисходящих течений.

Таким образом, причиной почти безоблачного лета Нижнего Поволжья, Казахстана и Средней Азии, позволяющего выревать здесь ряду растений, нигде более не растущих в столь относительно высоких широтах, являются мощные нисходящие течения, обусловленные рассмотренным выше циркуляционным механизмом. Орошение засушливых областей при таком обилии солнечного сияния превратит их в одно из самых цветущих и плодородных мест земного шара.

Поступило
9 XII 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. А. Дородницын, Б. И. Извеков и М. Е. Швец, Метеорол. и гидрол., № 4 (1939). ² М. И. Юдин и М. Е. Швец, Тр. ГГО, в. 31 (1940). ³ Н. Е. Kochin, Собр. соч., 1, 1949, стр. 286—310. ⁴ Н. Е. Kochin, Собр. соч., 1, 1949, стр. 311—339. ⁵ Большой Советский Атлас Мира, 1940. ⁶ Normal Weather Maps, Northern Hemisphere, Upper Level.