

Н. И. ВУЛЬФСОН

## МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ КОНВЕКТИВНЫХ ДВИЖЕНИЙ В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ

(Представлено академиком О. Ю. Шмидтом 16 V 1953)

Идея метода заключается в том, что при горизонтальном полете на самолете, оборудованном чувствительным термометром, восходящие токи или пузыри, пересекаемые самолетом, регистрируются как зоны с несколько более высокой температурой, чем окружающее пространство.

Регистрация изменения температуры при такого рода полетах осуществлялась записью на осциллограф показаний термометра сопротивления чувствительностью  $0,01^\circ$ . Однако, вследствие часто наблюдающихся мелких флуктуаций температуры, практическая точность отсчетов уменьшалась до  $0,05^\circ$ . Инерция установки определялась частотой собственных колебаний шлейфа (50 гц), так как тепловая инерция термометра, обдуваемого потоком со скоростью около 80 м/сек, была меньше 0,02 сек.

На рис. 1 *а*, *б* и *в* приведены образцы осциллограмм, полученных при полете 18 IX 1952 г. на высотах, соответственно, 100, 1000 и 2000 м.

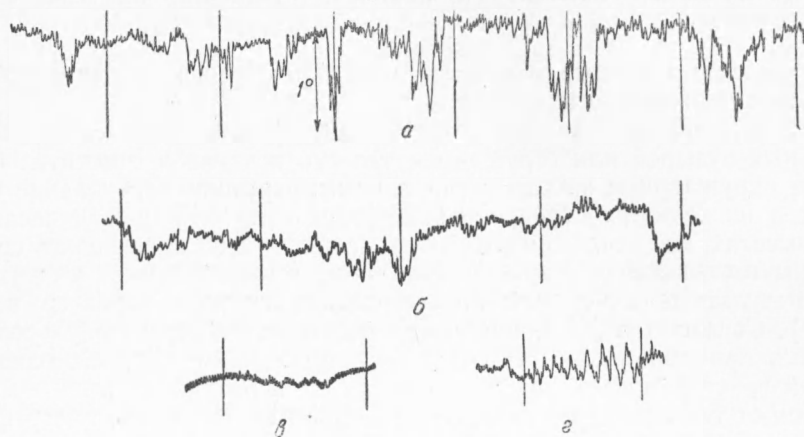


Рис. 1. Образцы записи температуры на осциллограммах (температура понижается вверх, вертикальные линии — отметки времени через интервалы в 10 сек.)

Чтобы окончательно убедиться в том, что импульсы температуры отражают именно конвективные восходящие движения, днем 20 IX был совершен специальный полет с суши на море. Этот полет показал, что достаточно резкие и интенсивные импульсы над сушей совершенно исчезают с прекращением конвективных движений над морем.

Следует отметить, что термометр регистрирует и динамическую турбулентность. Однако в этом случае равно вероятны как положительные, так и отрицательные импульсы температуры (рис. 1 *г*).

Осенью 1952 г. было произведено несколько полетов с целью изучения конвективных движений указанным методом. Результаты двух поле-

тов приведены в табл. 1 и на рис. 2. Полеты происходили 18 IX над участком, состоящим наполовину из небольших озер, наполовину из степи; 20 IX — над песками напоустыни. Каждый участок имел протяженность около 30 км.

Таблица 1

Дата	Время полета	Высота в м	Число импульсов	Расст. между импульсами в м		Размеры импульсов в м			Интенсивности импульсов в °*		Средн. квадрат. отклонение т-ры
				средн.	макс.	наибол. вероятн.	средн.	макс.	средн.	макс.	
18 IX	10 <sup>58</sup> —11 <sup>04</sup>	100	150	101	1340	70; 35	87	380	0,42	1,45	0,33
	11 <sup>12</sup> —11 <sup>18</sup>	300	57	379	2050	65	98	340	0,36	0,85	0,15
	11 <sup>26</sup> —11 <sup>32</sup>	500	45	600	2170	60	89	315	0,28	0,80	0,20
	11 <sup>40</sup> —11 <sup>46</sup>	700	33	730	4715	65	104	260	0,27	0,55	0,10
	11 <sup>53</sup> —11 <sup>59</sup>	1000	29	904	2370	60; 80	93	190	0,22	0,35	0,06
	12 <sup>10</sup> —12 <sup>16</sup>	1500	45	669	2840	65	83	290	0,26	0,70	0,10
	12 <sup>27</sup> —12 <sup>33</sup>	2000	16	1980	4850	30	39	75	0,12	0,20	0,02
	12 <sup>45</sup> —12 <sup>48</sup>	3000	2	—	—	—	35	40	0,10	0,10	—
20 IX	11 <sup>41</sup> —11 <sup>47</sup>	100	160	64	1610	35; 60	73	470	0,42	1,15	0,20
	11 <sup>52</sup> —11 <sup>58</sup>	300	61	369	4100	65; 30	85	295	0,31	0,65	0,12
	12 <sup>04</sup> —12 <sup>10</sup>	500	42	354	3960	60	85	270	0,27	0,60	0,07
	12 <sup>15</sup> —12 <sup>21</sup>	700	28	926	5210	60	76	155	0,25	0,45	0,07
	12 <sup>26</sup> —12 <sup>32</sup>	1000	28	805	4160	60; 80	81	155	0,25	0,50	0,07
	12 <sup>39</sup> —12 <sup>45</sup>	1500	24	1140	4670	55	90	270	0,25	0,60	0,12
	13 <sup>02</sup> —13 <sup>08</sup>	1800	16	1560	6270	45	54	110	0,09	0,15	0,05
	12 <sup>53</sup> —12 <sup>59</sup>	2000	—	—	—	—	—	—	—	—	—

\* При определении интенсивности импульсов учитывались изменения скорости и высоты полета.

Приведенные данные отражают ряд характерных особенностей конвективных движений в атмосфере.

1. Конвективные движения над сушей представляют собой подъем отдельных пузырей или струй более теплого воздуха в относительно холодном окружающем пространстве, а не непрерывное чередование восходящих и нисходящих струй. Средние расстояния между импульсами на всех высотах, за исключением 100 м, значительно превышают средние размеры импульсов.

2. Результаты измерений подтверждают ярусный характер конвекции (1). Согласно табл. 1, наиболее вероятные размеры импульсов\* составляют приблизительно 60—70 м (за исключением уровней, близких к верхней границе конвективного слоя, где температура пузырей мало отличается от температуры окружающего пространства и термометр фиксирует их на пределе чувствительности). Сохранение наиболее вероятных размеров импульсов на всех высотах и приблизительно одинаковый характер распределения размеров говорят о том, что пузыри, наблюдавшиеся в исследуемом слое конвекции, всплывают с уровней, близких к уровню 100 м. Это подтверждает и наличие на высоте 100 м второго максимума в 30—35 м, обусловленного нижележащим конвективным слоем, характеризующимся в общем меньшими размерами струй. Верхняя «граница» нижнего конвективного слоя лежит где-то около 300 м\*\*, так как на этой высоте в одном из полетов наблюдался второй слабый максимум, характерный для нижележащего слоя.

\* Наиболее вероятные значения получены из рассмотрения данных для значительно более узких интервалов, чем приведенные на рис. 2.

\*\* Граница между конвективными слоями до некоторой степени условна, так как для обоих слоев характерны широкие спектры размеров струй.

Если сечение струй или пузырей представляет собой окружность, то размеры импульсов заведомо меньше наиболее вероятных диаметров струй. Вероятность импульса (хорды окружности) величиной от  $l$  до

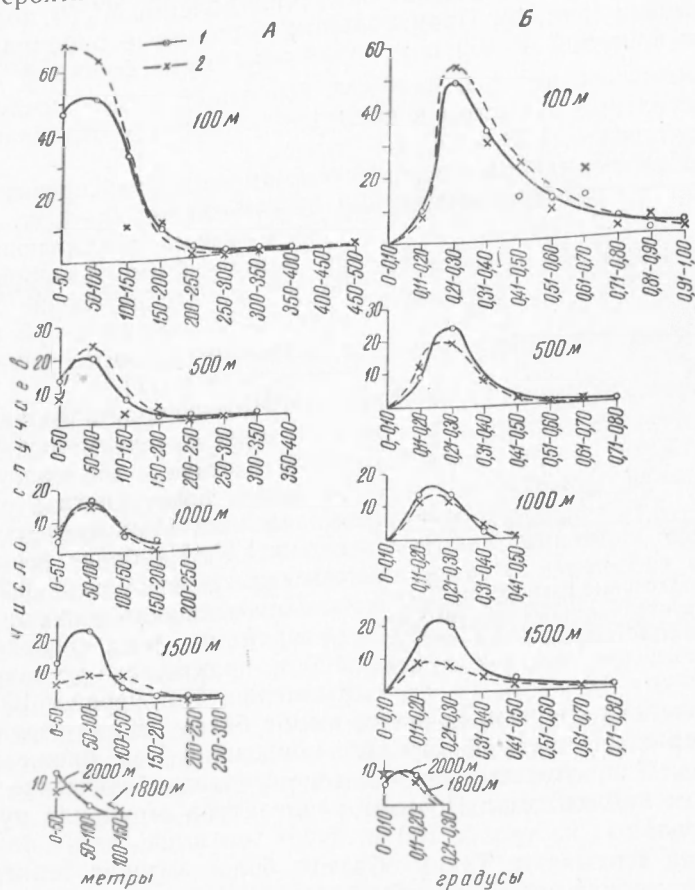


Рис. 2. Распределение импульсов: А — по размерам, Б — по интенсивности, 1 — полет 18 IX, 2 — полет 20 IX

$l + dl$  равна произведению вероятности пролета через струю радиусом от  $R$  до  $R + dR$  на вероятность пересечения этой струи на расстоянии от  $z$  до  $z + dz$  от центра. Плотность вероятности  $W(z) = 1/R$ , или, относя к длине импульса,

$$W(z) = \frac{1}{R} \frac{\partial z}{\partial l} = \frac{l}{2R\sqrt{4R^2 - l^2}}.$$

Таким образом, плотность вероятности размеров импульсов (получающаяся из эксперимента) равна

$$W_1(l) = \int_0^{\infty} W_2(x) \frac{l}{x\sqrt{x^2 - l^2}} dx, \quad (1)$$

где  $x = 2R$ , а  $W_2(x)$  — плотность вероятности размеров диаметров струй.

Оценить величину наиболее вероятных диаметров струй можно, задавшись двумя видами функции:  $W_2(x) = mx^4 e^{-nx^2}$  и  $W_2(x) = ax^2/(1 + bx^2 + cx^4)$ , подобранных таким образом, чтобы полученные из

(1) плотности вероятности  $W_1(l) = \frac{m}{4} \sqrt{\frac{\pi}{n}} \left( \frac{l}{n} + 2l^3 \right) e^{-nl^2}$  и  $W_1(l) =$

$$= \frac{a\pi}{8\sqrt{c}} \frac{l}{(1 + \sqrt{c l^2})^{3/2}} \text{ при } b^2 = 4c \text{ имели, соответственно, меньшую и больш-}$$

шую дисперсию, чем любая из кривых распределения  $W_1(l)$ , полученных из эксперимента (рис. 3). Произвольные постоянные определяются из нормировки функций  $W_2(x)$  и условий максимума функций  $W_1(l)$ .

Если обозначить через  $L$  наиболее вероятный размер импульсов, то наиболее вероятные диаметры в приведенных случаях оказываются равными, соответственно, 1,29 и 1,41  $L$ .

Таким образом, наиболее вероятные диаметры струй превышают наиболее вероятные размеры измеренных импульсов на 30—40 %.

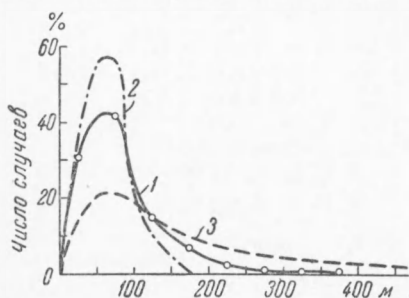


Рис. 3. Распределение размеров импульсов: 1 — фактическое (736 импульсов), 2 и 3 — соответственно, с большей и меньшей дисперсией, чем фактическое

высокую температуру, как правило, имеют более мелкие струи. Это еще раз подтверждает ярусный характер конвекции. Чем ближе некоторый слой к земной поверхности, тем большие сверхадиабатические градиенты могут в нем наблюдаться. Поэтому температура струй или пузырей, зарегистрированных на уровне 100 м, будет тем выше, чем с более низких уровней они всплывают. Таким образом, более высокая температура относительно мелких струй подтверждает как наличие яруса конвекции ниже 100 м, так и то, что для этого яруса характерны меньшие размеры струй.

5. Если исключить из рассмотрения относительно мелкие струи с более высокой температурой, то оказывается, что до  $\sim 1500$  м средняя интенсивность импульсов мало меняется с высотой.

6. Законы распределения размеров и интенсивности импульсов в обоих полетах оказались достаточно близкими, несмотря на различие в характере подстилающих поверхностей.

Пользуясь случаем выразить глубокую благодарность члену-корреспонденту АН СССР Е. К. Федорову за внимание и помощь в постановке данной работы, Б. М. Бовшеверову за ряд ценных советов и критических замечаний и В. В. Щелокову, Л. В. Кириченко, Е. Ф. Маминой, М. Д. Кузьменко и А. Е. Халецкому, принимавшим участие в создании термометрической установки или в летном эксперименте.

Геофизический институт  
Академии наук СССР

Поступило  
20 IV 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> А. А. Скворцов, Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 6 (1951).

\* См. сноску на стр. 240.