

Л. А. РВАЧЕВ

**ЭКСПЕРИМЕНТ ПО МАШИННОМУ ПРОГНОЗИРОВАНИЮ
ЭПИДЕМИИ ГРИППА**

(Представлено академиком В. М. Глушковым 23 X 1970)

В работе (1) была приведена модель распространения эпидемии по большой территории:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \varphi_i}{\partial t} &= \sum_{j=1}^n \left(\frac{\sigma_{ji}}{\rho_j} \varphi_j - \frac{\sigma_{ij}}{\rho_i} \varphi_i \right), \\ \frac{dx_i}{dt} &= \sum_{j=1}^n \left(\frac{\sigma_{ji}}{\rho_j} x_j - \frac{\sigma_{ij}}{\rho_i} x_i \right) - \varphi_i(t, t), \\ \varphi_i(t, t) &= \frac{\lambda}{\rho_i} x_i \int_0^T \varphi_i(t, t - \tau) g(\tau) d\tau, \quad i = 1, 2, \dots, n,\end{aligned}$$

где ρ_i — численность населения города i ; σ_{ij} — число лиц, переехавших из города i в город j за единицу времени; $\varphi_i(t, t)$ — число лиц в городе i в момент t , заболевших в более ранний момент t ; $x_i(t)$ — число неиммунных лиц в городе i в момент t ; λ — средняя частота внутригородской передачи инфекции; T — максимальная длительность заболевания; $g(\tau)$ — вероятность остаться больным спустя время τ после начала заболевания.

Когда в эту модель в качестве начального состояния системы были введены данные о заболеваемости гриппом в Ленинграде в начале января 1965 г. (по остальным городам страны было задано нулевое начальное состояние), то для Москвы на конец января — февраль 1965 г. машина выдала эпидемическую волну, которая хорошо совпала с реальной эпидемией в Москве в этот период. (Методы определения необходимых для счета параметров приведены в (1), а Ленинград был выбран потому, что именно отсюда распространилась по СССР большая эпидемия гриппа в 1965 г.; сравнение с другими, кроме Москвы, городами не производилось, так как мы располагали статистическими данными за период вспышки только по Москве и по Ленинграду за первую декаду января.) Таким образом, было доказано, что распространение больших эпидемий в системе городов, объединенных транспортной сетью, в принципе может моделироваться математическими методами.

Однако в (1) мы высказались весьма скептически о возможности перехода от моделирования к прогнозированию, так как при определении параметров модели были использованы некоторые статистические данные и по Москве. Но сейчас мы получили статистические данные о вспышках гриппа в 1965 г. и по 23 городам страны, в результате чего выяснилось, что действительность более благоприятна для прогнозирования, чем мы ожидали в (1).

На рис. 1 сплошные линии означают ежедневную заболеваемость, выданную машиной в процессе эксперимента, описанного в (1). Реальные статистические данные обозначены кружками (данные по субботам и воскресеньям интерполированы, так как в эти дни имеют место существенные ошибки наблюдений). Видно хорошее совпадение расчетных и реальных

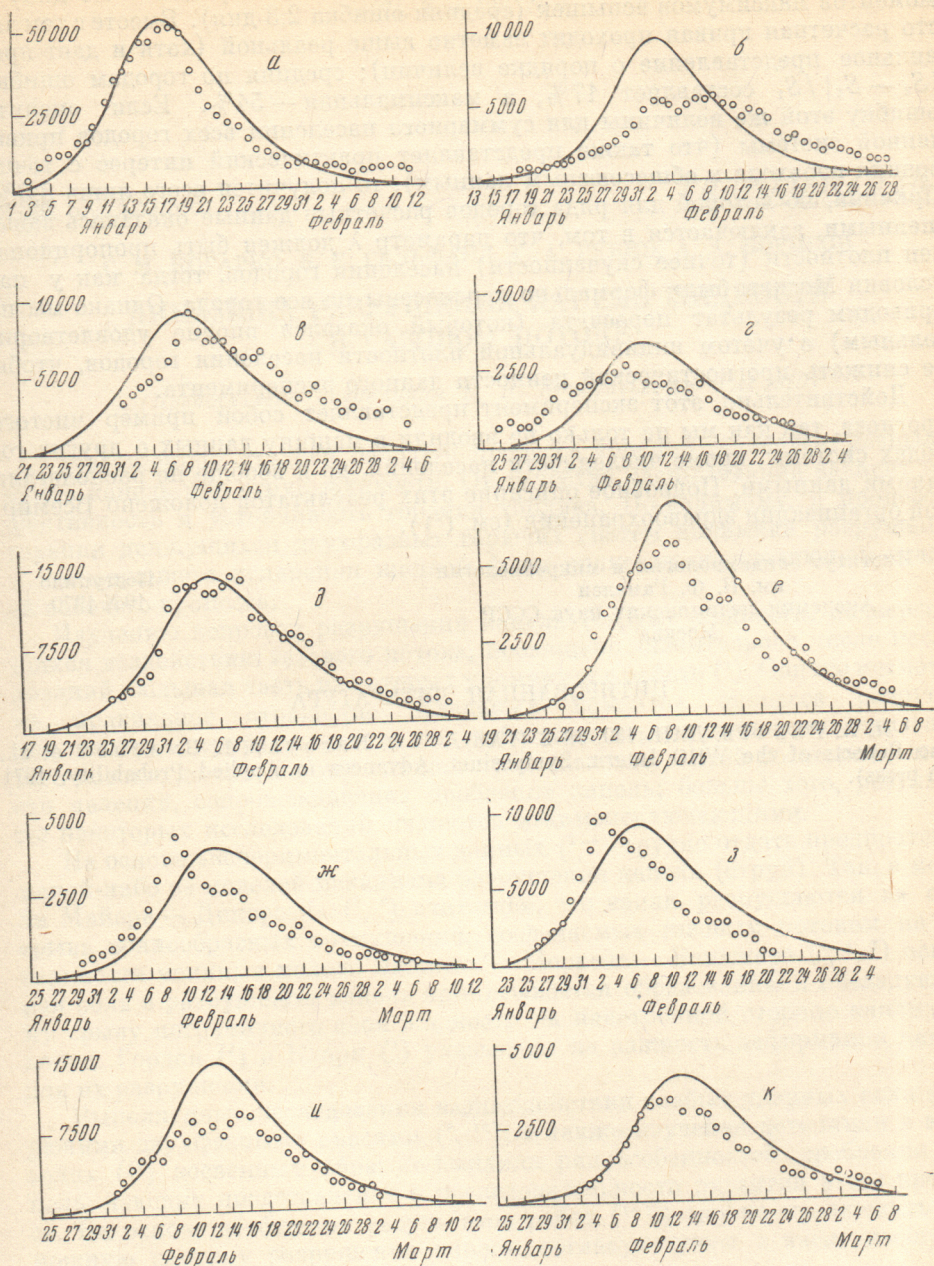


Рис. 1. Заболеваемость гриппом (примеры по 10 городам)

	Ленинград (а)	Рига (б)	Минск (в)	Курск (г)	Горький (д)	Воронеж (е)	Магнитогорск (ж)	Омск (з)	Новосибирск (и)	Кемерово (к)
ρ	3607	649	688	240	1066	558	347	702	1013	343
s_1	805	117	142,3	47,8	243	97,2	54,2	113,6	157,8	58,5
s_2	818	141	142	54	236	116	62	144	221	64

Примечание. ρ —численность населения, s_1 — реальное число, s_2 — расчетное число переболевших.

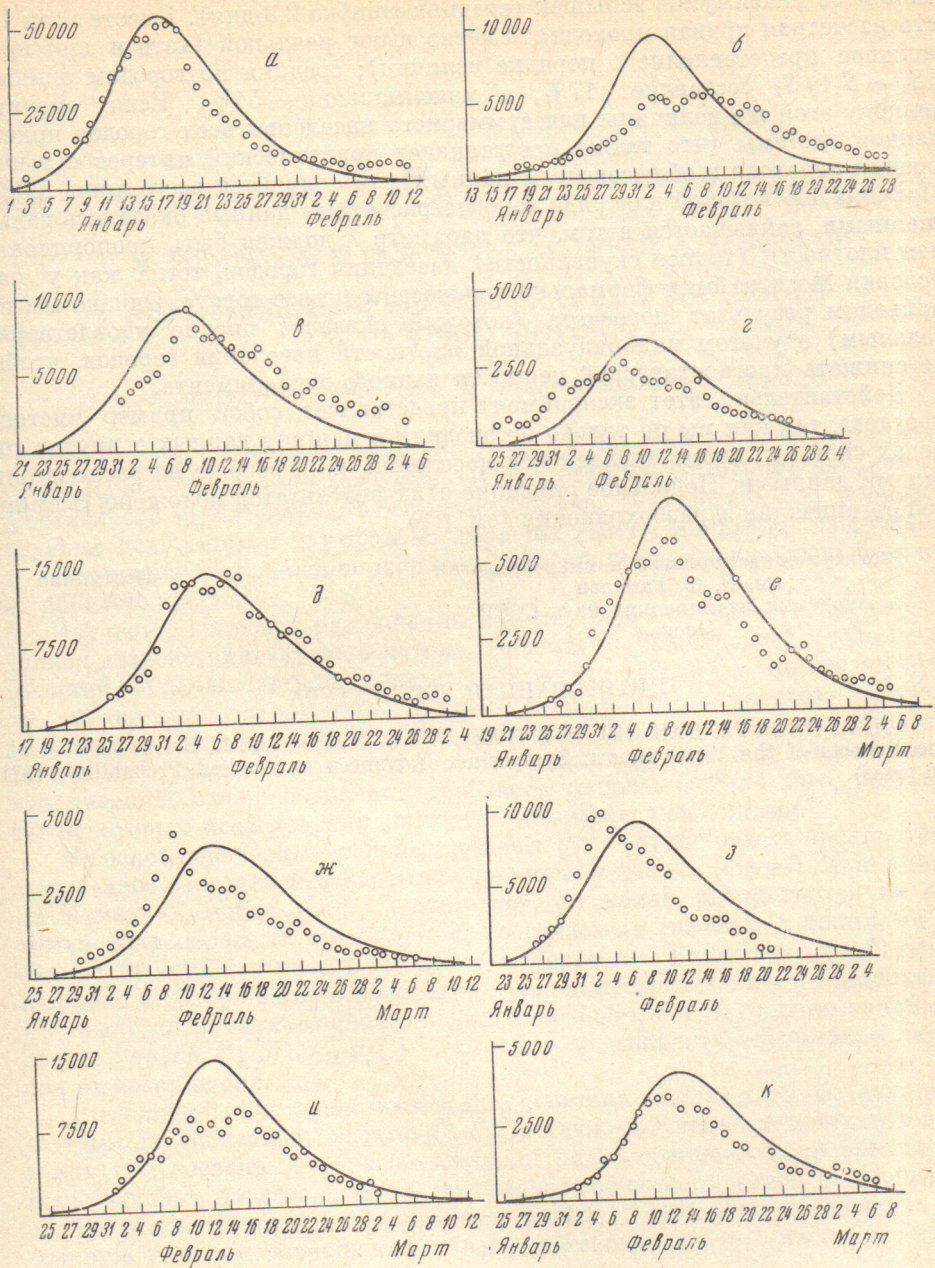


Рис. 1. Заболеваемость гриппом (примеры по 10 городам)

	Ленинград (а)	Рига (б)	Минск (в)	Курск (г)	Горький (д)	Воронеж (е)	Магнитогорск (ж)	Омск (з)	Новосибирск (и)	Кемерово (к)
ρ	3607	649	688	240	1066	558	347	702	1013	343
s_1	805	117	142,3	47,8	243	97,2	54,2	113,6	157,8	58,5
s_2	818	141	142	54	236	116	62	144	221	64

Примечание. ρ —численность населения, s_1 — реальное число, s_2 — расчетное число переболевших.

моментов начал вспышек (средняя ошибка по всем городам — 1,6 дня) и моментов максимумов вспышек (средняя ошибка 2,3 дня). Вместе с тем часто расчетная кривая проходит заметно выше реальной (хотя и дает правильное представление о порядке величин); средняя по городам ошибка $|S_2 - S_1|/S_1$ составляет 17%, а максимальная — 54%. Если оценить ошибку этой же величины для суммарного населения всех городов приведенной системы (что также представляет практический интерес с точки зрения перехода к общесоюзным данным), то получится всего лишь 3,5%. Причина, по которой для ряда городов расчетные данные оказались завышенными, заключается в том, что параметр λ должен быть пропорционален плотности (точнее скученности) населения городов, тогда как у нас условия Москвы были формально перенесены на все города. Однако мы не приводим результат пересчета (который оказался вполне удовлетворительным) с учетом индивидуальной плотности населения городов, чтобы не снижать прогностической ценности данного эксперимента.

Действительно, этот эксперимент представляет собой пример чистого прогноза, так как мы не только не вводили в машину данных о других городах системы, кроме численности населения, но и вообще не располагали такими данными. Подробное описание этих результатов доложено Всемирной организации здравоохранения (см. (2)).

Институт эпидемиологии и микробиологии
им. Н. Ф. Гамалеи
Академии медицинских наук СССР
Москва

Поступило
19 X 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. А. Рвачёв, ДАН, 180, № 2 (1968). ² О. Вароан, L. Rvachev et al., The Reports of the WHO Intern. Symposium, Advances in Applied Probability, 1971 (in press).