

**SIRS-модель распространения инфекций
с динамическим регулированием численности популяции:
Исследование методом вероятностных клеточных автоматов**

А.В. Шабунин

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского
Россия, 410012 Саратов, Астраханская, 83

E-mail: shabuninav@info.sgu.ru

Поступила в редакцию 14.12.2018, принята к публикации 26.02.2019

Цель. Построение модели распространения инфекции в виде решетки стохастических клеточных автоматов, в которой могут существовать нетривиальные динамические режимы; исследование ее динамики и сопоставление с моделью среднего поля. **Метод.** численное моделирование квадратной решетки клеточных автоматов по методу Монте-Карло, теоретическое и численное исследование устройства фазового пространства системы обыкновенных дифференциальных уравнений модели среднего поля. **Результаты.** Построена модифицированная SIRS-модель распространения эпидемий в виде решетки стохастических клеточных автоматов. В модели используется динамическое регулирование численности населения с ограничением максимального числа особей популяции и влиянием заболевания на процессы воспроизводства. Обнаружено, что в зависимости от управляющих параметров она демонстрирует четыре разных установившихся режима: (а) вымирание популяции, (б) стационарный ход заболевания, (в) полное излечение популяции и (г) самоподдерживающиеся колебания числа инфицированных, сопровождающиеся колебаниями общей численности популяции. Последний режим проявляется вблизи границы зоны полного излечения и характеризуется нерегулярными колебаниями числа заболевших с выраженной периодической составляющей. Показано, что при периодическом изменении параметров модель демонстрирует зашумленные периодические или квазипериодические колебания. **Обсуждение.** Поведение модели клеточных автоматов в целом соответствует модели среднего поля, однако имеются как количественные, так и качественные расхождения. Количественные расхождения заключаются в небольшом смещении значений средней концентрации заболевших особей относительно теоретически предсказанных величин. Расхождения существенно уменьшаются, если в популяции присутствует сильная миграция особей, что можно объяснить большей однородностью популяции в этом случае. В отличие от уравнений среднего поля модель клеточных автоматов демонстрирует необходимость отличного от нуля порога заболеваемости для поддержания эпидемии, а также наличие колебательного режима. Предполагаемая причина колебаний кроется в вероятностном характере работы клеточных автоматов, что приводит к случайным флуктуациям, которые могут усиливаться, подобно тому, как это происходит в возбудимых системах, находящихся под действием внешнего источника шума.

Ключевые слова: SIRS-модель, решетки клеточных автоматов, популяционная динамика.

Образец цитирования: Шабунин А.В. SIRS-модель распространения инфекций с динамическим регулированием численности популяции: Исследование методом вероятностных клеточных автоматов // Изв. вузов. ПНД. 2019. Т. 27, No 2. С. 5–20. <https://doi.org/10.18500/0869-6632-2019-27-2-5-20>

**SIRS-model with dynamic regulation of the population:
Probabilistic cellular automata approach**

A.V. Shabunin

Saratov State University
83, Astrakhanskaya str., 410012 Saratov, Russia
E-mail: shabuninav@info.sgu.ru

Received 14.12.2018, accepted for publication 26.02.2019

Aim. Construction a model of infection spread in the form of a lattice of stochastic cellular automata which can demonstrate nontrivial oscillating regimes; investigation of its dynamics and comparison with the mean-field model. **Method.** Numerical simulation of the square lattice of cellular automata by the Monte Carlo approach, theoretical and numerical study of the structure of the phase space of its mean-field model. **Results.** A modified SIRS-model of epidemic propagation has been proposed in the form of a lattice of stochastic cellular automata. It uses dynamic regulation of the population with limit on the maximum number of individuals and takes into account the influence of the disease on reproduction processes. The study has discovered that, depending on the control parameters, the model demonstrates four different steady-state regimes: (a) total dying of the population, (b) stationary course of the disease, (c) complete recovery of the deases and (d) self-sustaining fluctuations of the infected, which accompanied by fluctuations of the population. The last regime is manifested near the border of the zone of complete recovery and is characterized by irregular bursts in the number of ill with a clearly distinguishable periodic component. At periodic modulation of the parameters the model demonstrates noisy periodic or quasi-periodic oscillations. **Discussion.** In general, the cellular automata model behaves similarly to the mean field equations, however there are quantitative and qualitative differences. The first ones consist in small shifts in the average concentrations compared to theoretically predicted values. These shifts are significantly reduced when individuals in the population can migrate. This effect can be explained by the greater homogeneity of populations in this case. The qualitative difference is that, the model of cellular automata demonstrates the effects, which are absent in the mean-field equations: a threshold of ill individuals necessary for the epidemic spread, and the oscillatory regime. A suggested cause of the last effect is the probabilistic nature of cellular automata, which lead to random fluctuations of the concentrations. The last ones can be amplified just as it happens in excitable systems under external noise.

Key words: SIRS-model, lattice of cellular automata, population dynamics.

Reference: Shabunin A.V. SIRS-model with dynamic regulation of the population: Probabilistic cellular automata approach. *Izvestiya VUZ, Applied Nonlinear Dynamics*, 2019, vol. 27, no. 2, pp. 5–20. <https://doi.org/10.18500/0869-6632-2019-27-2-5-20>