

## АГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ СИСТЕМ ОЗЕЛЕНЕНИЯ И ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ НА ПРИМЕРЕ г. ЕРЕВАН, РЕСПУБЛИКА АРМЕНИЯ<sup>1</sup>

Акопов А.С., Бекларян Л.А. (Москва)<sup>i</sup>

Несмотря на возможности экологической модернизации предприятий в Республике Армения (Акоров и др., 2017), стоимость перехода к высокотехнологичному и малоотходному производству достаточно высока. Поэтому необходимо использовать системы класса *Natural Based Solutions*, в частности, зеленые насаждения, позволяющие снизить концентрацию вредных выбросов в отдельных городских районах, наиболее экономичным и экологически чистым способом.

Данная работа посвящена моделированию систем горизонтального и вертикального озеленения, взаимодействующих с вредными атмосферными выбросами на примере г. Ереван, Республика Армения. Особенностью предложенного подхода является комбинирование агент-ориентированной модели (АОМ) распространения вредных выбросов в городе с предложенной упрощенной Гауссовой моделью рассеивания вредных веществ в атмосфере. Разработаны и реализованы в *AnyLogic* агентные модели, учитывающие взаимовлияние систем озеленения и вредных выбросов, и позволяющие, в частности, управлять характеристиками подобных систем на индивидуальном уровне кластеров озеленения (Рис. 1).

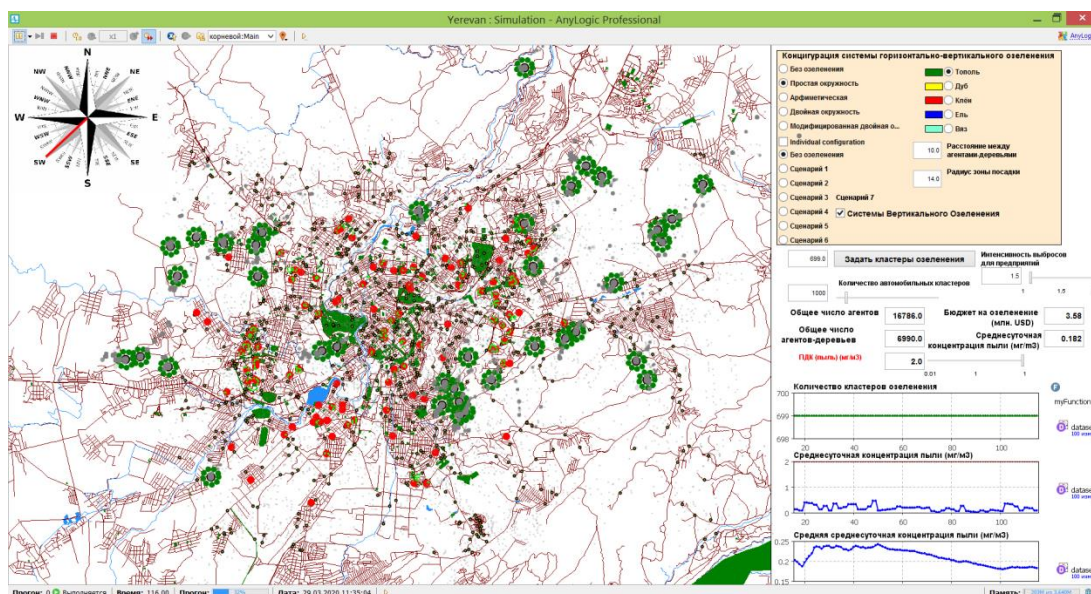


Рис. 1. Имитационная модель взаимовлияния систем озеленения и вредных выбросов для г. Ереван, Республика Армения

<sup>1</sup>Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-51-05004.

Первая разработанная имитационная модель (Акопов и др., 2019а; Акопов и др., 2019b), позволяет, в частности, вычислять наилучшие конфигурации систем традиционного горизонтального озеленения, обеспечивая минимизацию концентрации вредных выбросов и бюджета на озеленение за счет посадки деревьев вокруг источников выбросов и защищаемых городских объектов (например, детских садов). К ключевым управляющим параметрам подобной системы относятся: геометрия посадки (например, простая окружность, арифметическая спираль и др.), тип дерева (например, тополь, клен, ель, вяз и др.), расстояние между деревьями и др.

Вторая предложенная модель (Акопов и др., 2020), позволяет, в частности, определять рациональные характеристики систем вертикального озеленения (СВО), обеспечивая минимизацию концентрации вредных выбросов и бюджета на озеленение за счет применения СВО на высотных зданиях, расположенных поблизости от социально значимых объектов. С помощью разработанного параллельного генетического алгоритма вычислены оптимальные по Парето решения, обеспечивающие минимизацию среднесуточной концентрации вредных выбросов и затрат на озеленение, определены координаты зданий для СВО. Проведенный эконометрический анализ результатов имитационного моделирования подтвердил значимость систем озеленения для эколого-экономической системы.

### Литература

- Akopov A.S., Beklaryan L.A., Saghatelyan A.K.* Agent-based modelling for ecological economics: A case study of the Republic of Armenia // *Ecological Modelling*. 2017. Vol. 346, pp. 99–118.
- Akopov A.S., Beklaryan L.A., Saghatelyan A.K.* Agent-based modelling of interactions between air pollutants and greenery using a case study of Yerevan, Armenia // *Environmental Modelling and Software*. 2019. Vol. 116, pp. 7–25.
- Акопов А.С., Бекларян А.Л., Сагателян А.К., Саакян Л.В., Беляева О.А., Тепяносян Г.О.* Система поддержки принятия решений для рационального озеленения города на примере г. Ереван, Республика Армения // *Программная инженерия*. 2019. Т. 10. № 2. С. 87–96.
- Акопов А.С., Бекларян А.Л., Сагателян А.К., Саакян Л.В., Беляева О.А., Тепяносян Г.О.* Агентное моделирование сложной системы горизонтально-вертикального озеленения и вредных атмосферных выбросов на примере г. Ереван, Республика Армения // *Искусственные общества*. 2020. № 1 (в печати).

---

<sup>1</sup> Акопов Андраник Сумбатович – ЦЭМИ РАН, [akopovas@umail.ru](mailto:akopovas@umail.ru);  
Бекларян Левон Андреевич – ЦЭМИ РАН, [beklar@cemi.rssi.ru](mailto:beklar@cemi.rssi.ru);