



Artificial societies. 2013-2020

ISSN 2077-5180

URL - <http://artsoc.jes.su>

All right reserved

Issue 3-4 Volume 12. 2017

Agent-based modelling for ecological-economics system of a city (on example of Yerevan, Republic of Armenia)

A. Akopov

Cemi RAS

Russian Federation, , Moscow

. Beklaryan

Russian Federation, Moscow,

L. Beklaryan

Cemi RAS

Russian Federation, Moscow,

Abstract

In this paper is presented a new agent-oriented approach to modeling the dynamics of air pollution in a city (on the example of Yerevan, the Republic of Armenia) in order to minimize the concentration of air pollution in the atmosphere with the existing budget constraint. The developed agent-oriented model is implemented in the AnyLogic simulation tool using original Java-classes modeling the behavior of relevant agents. The short abstract description of the model of air pollution distribution in a city based on of system of the differential equations considering the difficult mechanism of absorption-diffusion interaction of agent-emissions and agent-trees is provided.

Keywords list (en): agent based modeling, ecological-economics system, air pollution, emission dynamics, Armenia

Date of publication: 30.12.2017

Citation link:

Akopov A., Beklaryan G., Beklaryan L. Agent-based modelling for ecological-economics system of a city (on example of Yerevan, Republic of Armenia) // Artificial societies. 2017. V. 12. Issue 3-4

1 В настоящее время мы наблюдаем существенное усложнение требований, предъявляемых к системам поддержки принятия экологического и экономического планирования, обусловленное, во многом, наличием множественных ограничений и факторов, существенно влияющих на возможности поиска наилучших альтернатив, обеспечивающих достижение устойчивого развития подобных эколого-экономических систем.

2 В данной статье представлен новый агентно-ориентированный подход к моделированию динамики выбросов вредных веществ в городе (на примере г. Ереван, Республика Армения) с учетом ландшафтных особенностей (при наличии агентов-деревьев) с целью минимизации концентрации вредных веществ в атмосфере при имеющимся бюджетном ограничении.

3 В качестве объекта исследования выбран г. Ереван, Республика Армения. Ереван находится в Араратской долине и имеет важные географические особенности, существенно ограничивающие возможности использования таких простых и достаточно эффективных мер по улучшению качества воздуха как перемещение предприятий и крупных автомагистралей за пределы города.

4 Отметим, что ранее учеными из ЦЭМИ РАН и Центра Эколого-Ноосферных исследований Национальной Академии Наук Республики Армения была разработана агентная модель эколого-экономической системы регионального типа, реализованная для Республики Армения в целом и представленная циклом опубликованных работ, поддержанных международным грантом РФФИ № 15-51-05011 (Акопов А.С., Бекларян Л.А и др., 2017; Акопов А.С., Бекларян Л.А и др., 2016; Акопов А.С., Бекларян Л.А. и др., 2016; Акопов А. С., Хачатрян Н. К. и др., 2016). Особенностью подобной модели являлся переход системы в направлении малоотходного производства за счет экологической модернизации. Однако, при этом затраты на экологическую модернизацию, в том числе, консервацию вредных производств, внедрение современных очистительных технологий и др. оказываются достаточно высокими. Поэтому необходим поиск менее затратных, экономически реализуемых сценариев устойчивого развития эколого-экономической системы города за счет рационального использования возможностей самой природы, например, посредством городского озеленения.

5 Отметим, что представленное в данной статье исследование основано на методах агентного моделирования социально-экономических систем, активно развиваемых российскими учеными, в том числе применительно к задачам экономического и экологического планирования (Акопов А.С., Бекларян Л.А. и др., 2014; Бахтизин А.Р., 2008; Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., 2009; Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., 2013; Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. и др. 2015; Ромазанов Р.Р. 2016; Белоусов Ф.А., Дарсавилидзе Д.С., 2015; Бекларян Л.А, Акопов А.С. и др., 2016).

6 Важным элементом системы экологического и экономического планирования, как многоцелевой задачи управления, является поддержка вычислительной процедуры определения, аппроксимации и визуализации Парето оптимальных решений (Lotov A.V., Bourmistrova L.V., и др., 2005; Березкин В. Е., Каменев Г. К. и др., 2006; Лотов А.В., Поспелова И.И., 2008), являющихся, в частности, экологическими альтернативами таких целевых функционалов, как концентрация вредных веществ в атмосфере, затраты на экологическую модернизацию, бюджет на озеленение города, количество диагностированных заболеваний, вызванных вредными выбросами и др.

7 Также следует отметить важные работы по численному моделированию динамики вредных выбросов в атмосферу, оценки их влияния на эколого-экономическую систему и динамику заболеваемости населения (Хамидуллин И.Р., Баянов И.М., 2008; Унгурияну Т.Н., Гржибовский А.М., 2011; Ваншина Е.А., Северюхина Н.А., 2014).

8 В условиях дефицита средств на экологическую модернизацию необходим поиск сценариев управления эколого-экономической системой с использованием природных ресурсов, в частности, агентов-деревьев как наиболее дешевых и эффективных инструментов влияния на качество воздуха.

9 Целесообразность использования агентов-деревьев обусловлена во многом их абсорбционными характеристиками. Известно, что некоторые типы деревьев (например, тополь, клен, дуб и др.) способны хорошо абсорбировать определенные виды вредных выбросов, снижая, таким образом, концентрацию вредных веществ в атмосферу. При этом абсорбционные характеристики деревьев дифференцируются по видам выбросов, например, тополь в наибольшей степени абсорбирует выбросы CO₂, вяз – лучше всего улавливает пыль, мхи и лишайники – тяжелые металлы и т.д. При этом с практической точки зрения важно, где расположены деревья. Так, например, деревья, посаженные вдоль дорог и вблизи предприятий, оказывают наибольший эффект на концентрацию выбросов, генерируемых автотранспортом и промышленными стационарными источниками выбросов. Кроме того, озеленение оказывает существенный эффект на температуру и качество воздуха (насыщенность кислородом и фитонцидов – биологически активных веществ, положительно влияющих на здоровье человека и животных).

10 Обеспечивая рациональное управление геометрией посадки деревьев, например, варьируя удаленность от источников выбросов, плотность посадки, конфигурацию расположения деревьев внутри зоны посадки (например, окружность, арифметическая спираль, двойная окружность и т.д.), тип высаживаемых деревьев (например, тополь, вяз, дуб и т.д.) со своими абсорбционными характеристиками, выбирая наилучший метод озеленения (например, традиционное, вертикальное и т.д.) можно достичь существенного снижения концентрации вредных веществ в атмосферу в условиях имеющегося бюджетного ограничения.

11 Вместе с тем, задача построения системы поддержки принятия решений по рациональному экологическому планированию для города является довольно сложной, так как необходимо смоделировать динамику выбросов вредных веществ в атмосферу во взаимодействии с другими ландшафтными объектами (деревьями, высотными зданиями, дорогами и т.д.). Наличие подобных объектов обуславливает изменение направлений воздушных потоков, оказывая на выбросы соответствующие абсорбционно-диффузионные эффекты. В результате, как правило, наибольшая концентрация вредных выбросов наблюдается не в месте расположения самого источника выбросов, а на некотором удалении от него, в основном, из-за влияния направления ветра и специфики ландшафта (например, наличия гор, деревьев и т.д.). При этом основная задача состоит в том, чтобы минимизировать концентрацию вредных выбросов в зонах плотной жилой застройки, предотвратить распространение вредных выбросов в направлении города и максимально снизить их концентрацию.

12 Нами была предложена новая агентная модель, учитывающая динамику вредных выбросов от агентов-предприятий и агентов-транспортных средств во взаимодействии с агентами-деревьями, и позволяющая управлять характеристиками системы озеленения (внутренней конфигурацией и геометрией зон посадки – кластеров деревьев, типом деревьев и т.д.).

13 Для описания динамики вредных выбросов используется система дифференциальных уравнений с переменной структурой, учитывающая абсорбционно-диффузионное взаимодействие агентов-выбросов и агентов-деревьев (рис. 1).

14 Следует отметить, что под агентом-деревом в модели понимается группа близко расположенных деревьев (порядка 10). Подобная структура агента-дерева и приводит к описываемому эффекту «диффузии».

15

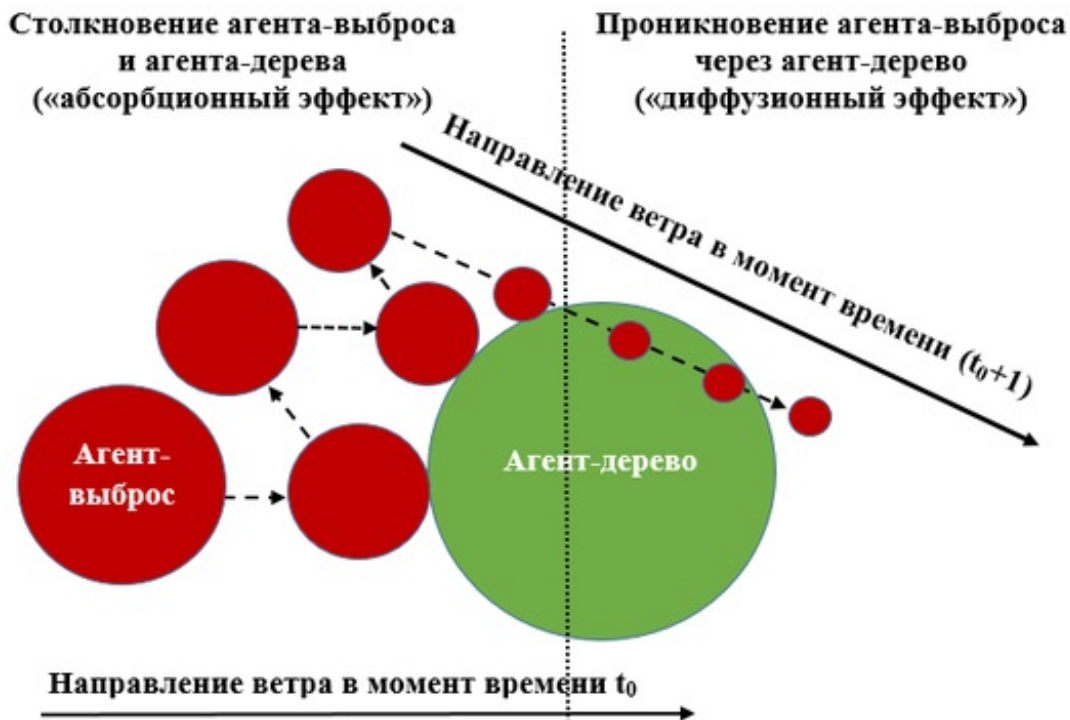


Рис. 1. Иллюстрация механизма абсорбционно-диффузионного взаимодействия агента-выброса и агента-дерева.

16 После генерации (появления) нового агента-выброса каким-либо источником выбросов (например, агентом-предприятием, агентом-транспортным средством) данный агент-выброс движется под воздействием силы ветра в соответствующем направлении (рис. 1). При отсутствии какого-либо препятствия агент-выброс сохраняет свой личный радиус, характеризующий совокупную массу соответствующего набора вредных веществ, в неизменном состоянии. С течением времени личный радиус агента-выброса постепенно уменьшается естественным образом (т.е. за счет рассеивания и потери массы) до момента полной диссипации. В случае если на пути агента-выброса оказывается агент-дерево, то при столкновении с последним личный радиус агента-выброса уменьшается, а сам агент-выброс отталкивается от агента-дерева в противоположном направлении.

17 Далее, под воздействием силы ветра, такой агент-выброс продолжает сталкиваться с агентом-деревом с соответствующим уменьшением личного радиуса. Подобный процесс отражает «абсорбционный эффект» агента-дерева по отношению к агенту-выбросу. После существенного (кратного) уменьшения личного радиуса агента-выброса при очередном его столкновении с агентом-деревом, происходит проникновение агента-выброса сквозь агента-дерево. Подобный процесс отражает «диффузионный эффект» агента-дерева по отношению к агенту-выбросу. Далее, агент-выброс движется в соответствии с направлением ветра игнорируя препятствия в виде деревьев до наступления момента полной диссипации.

18 Отметим, что дневная концентрация вредных веществ в модели оценивается как суммарная площадь всех агентов-выбросов, находящихся в зоне действия мониторинговой станции наблюдения, вычисленная по текущим значениям личных радиусов агентов-выбросов. При этом, местоположение мониторинговой станции, как правило, устанавливается в центре города и в зонах концентрации жителей (например, малый центр города). При этом, зона действия мониторинговой станции представляет собой окружность, для которой вычисляется суммарная площадь всех входящих в нее агентов-выбросов. Очевидно, что при наличии рационально расположенных агентов-деревьев (например, вдоль дорог, вокруг предприятий, вдоль стен высотных зданий и т.д.), являющихся естественным барьером на пути агентов-выбросов, количество и площадь подобных агентов-выбросов в зоне действия мониторинговой станции существенно снижается. Тем не менее, при высадке агентов-деревьев необходимо учитывать систему имеющихся ограничений. Во-первых, это бюджетное ограничение на озеленение города. Во-вторых, существует лишь ограниченное количество мест, в которых могут быть посажены деревья и какая-либо растительность. Очевидно, что агенты-деревья не могут быть расположены на зданиях (исключение составляет система вертикального озеленения на стенах высотных зданий), в водоемах, на площадях, поверх агентов-предприятий, на автотрассах и т.д. Таким образом, при распределении агентов-деревьев в городе и конфигурировании зон посадки необходимо использовать множество допустимых координат формата WGS 84 (всемирная система геодезических параметров Земли 1984 года, в число которых входит система геоцентрических координат).

19 Агенты-выбросы движутся в различном направлении под воздействием сил, вызванных скоростью ветра и с учетом взаимодействия с различными ландшафтными объектами, в частности, агентами-деревьями. Такое перемещение вредных веществ может быть описано дифференциальными уравнениями с переменной структурой.

20 Динамика каждого агента-выброса в каждый момент времени описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

21

$$\frac{d\tilde{x}_j(t)}{dt} = \begin{cases} s_j \cos \alpha_j(t), & \text{если выполняется I,} \\ s_j \cos(\pm \beta_{j,k_z}(t)) + \frac{c_j}{\text{dist}_{j,k_z}} \cos \gamma_j(t), & \text{если выполняется II,} \\ 0, & \text{если выполняется III,} \end{cases}$$

22

$$\frac{d\tilde{y}_j(t)}{dt} = \begin{cases} s_j \sin \alpha_j(t), & \text{если выполняется I,} \\ s_j \sin(\pm \beta_{j,k_z}(t)) + \frac{c_j}{\text{dist}_{j,k_z}} \sin \gamma_j(t), & \text{если выполняется II,} \\ 0, & \text{если выполняется III,} \end{cases}$$

23 где

24 I. $(\text{dist}_{j,k_z}(t) > r_j(t) + R_{k_z}(t))$ для всех $k_z \in \{1, 2, \dots, K_z(t)\}$ or $r_j(t) < R_{k_z}(t) / \varpi$ для ближайшего $k_z \in \{1, 2, \dots, K_z(t)\}$

25 и $st_j(t) = 1$,

26 II. $(dist_{jk}(t) \leq r_j(t) + R_{k_\xi}(t))$ для ближайшего $k_\xi \in \{1, 2, \dots, K_\xi(t)\}$ и $r_j(t) \geq R_{k_\xi}(t) / \varpi$ для ближайшего $k_\xi \in \{1, 2, \dots, K_\xi(t)\}$ и $st_{j_i}(t) = 1$,

27 III. $(dist_{jk}(t) \leq r_j(t) + R_{k_\xi}(t))$ и $r_j(t) \geq R_{k_\xi}(t) / \varpi$ для всех $k_\xi \in \{1, 2, \dots, K_\xi(t)\}$ или $st_{j_i}(t) = 0$.

28 Здесь,

29 - $t \in \{t_0, t_0+1, \dots, t_0+T\}$ – время по дням (t_0 – начальное время, – один год); $i \in \{1, 2, \dots, I(t)\}$ – индекс источников выбросов (агентов-предприятий и агентов-транспортных средств);

30 - $j_i \in \{1, 2, \dots, J_i(t)\}$ – индекс агентов-выбросов;

31 - $\{\tilde{x}_{j_i}(t), \tilde{y}_{j_i}(t)\}$ – координаты j_i -го агента-выброса в системе WGS 84;

32 - $\xi \in \{1, 2, \dots, Z(t)\}$ – индекс зоны высадки агентов-деревьев (кластеры деревьев);

33 - $k_\xi \in \{1, 2, \dots, K_\xi(t)\}$ – индекс агентов-деревьев, принадлежащих своим -ым кластерам;

34 - $\{\tilde{x}_{j_i}(t), \tilde{y}_{j_i}(t)\}$ – координаты агента-выброса в момент времени t ;

35 - s_{j_i} – скорость распространения выбросов, определяемая скоростью ветра;

36 - $\alpha_{j_i}(t)$ – угол, определяющий направление движения j_i -го агента-выброса при условии отсутствии какого либо препятствия (агента-дерева) на его пути, которое вычисляется как угол между известным вектором направления движения j_i -го агента-выброса в текущий и предыдущий момент времени соответственно;

37 - $\pm \beta_{jk}(t)$ – угол обхода j_i -го агента-выброса вокруг k_ξ -го агента-дерева, которое вычисляется как угол между известным вектором движения j_i -го агента-выброса в направлении k_ξ -го агента-дерева и вектором движения j_i -агента-выброса в направлении известных координат точки обхода агента-дерева (слева или справа в зависимости от знака угла $\beta_{jk}(t)$, задаваемого случайным образом);

38 - $\gamma_{j_i}(t)$ – угол отскока j_i -го агента-выброса от k_ξ -го агента-дерева, которое вычисляется как противоположное направление от текущего направления агента-выброса, фиксируемого в момент столкновения с k_ξ -ым агентом-деревом, т.е. противоположный углу между вектором движения j_i -го агента-выброса в направлении k_ξ -го агента-дерева и вектором направления движения j_i -го агента-выброса в текущий момент времени;

39 - $c_{j_i}(t)$ – известный коэффициент отскока j_i -го агента-выброса от каждого агента-дерева;

40 - $dist_{jk}(t)$ – Евклидово расстояние между j_i -ым агентом-выбросом и ближайшим k_ξ -ым агентом-деревом;

41 - $r_{j_i}(t)$ – радиус j_i -го агента-выброса уменьшающегося в результате каждого столкновения с каким-либо агентом-деревом. При этом начальное значение радиуса j_i -го агента-выброса является известным и зависит от характеристик источника выброса (агента-предприятия или агента-транспортного средства);

42 - $R_{k_\xi}(t)$ – радиус k_ξ -го агента-дерева, значение которого зависит от типа дерева (например, тополь, дуб, ель и т.п.) и может быть связано с сезонным фактором (меньше

поздней осенью и зимой чем поздней весной и летом);

43 - ω – коэффициент, отражающий «диффузионный эффект» ($\omega=10$). $st_{j_i}(t) \in \{1, 0\}$ – состояние j_i -го агента-выброса, при $st_{j_i}(t)=1$ – j_i -й агент-выброс активен, при $st_{j_i}(t)=0$ – j_i -й агент-выброс полностью утратил свой радиус.

44 Отметим, что предложенная модель динамики распространения выбросов вредных веществ (1) - (2) представлена в статье в несколько упрощенном виде. В действительности было выполнено более сложное имитационное моделирование процессов взаимодействия агентов-выбросов с агентами деревьями, которое учитывает дифференцированное влияние различных типов деревьев (например, тополь, дуб, клен, ель, вяз и др.) на различные виды вредных веществ (например, диоксид углерода – CO₂, оксид азота – NO_x, пыль, летучие органические вещества – VOC, тяжёлые металлы и др.), выработку деревьями фитонцидов – биологически активных веществ, положительно влияющих на здоровье человека, а также влияние городского озеленения на температуру и уровень комфорта в летние (наиболее жаркие) периоды времени. В конечном итоге, в предложенной модели учитывается комплексное влияние озеленения на качество воздуха (концентрацию вредных веществ в атмосфере), динамику заболеваемости населения, вызванную выбросами и привлекательность городской среды для жителей.

45 Для моделирования подобных систем со сложными нелинейными взаимосвязями между экологическими и экономическими факторами, а также факторами заболеваемости, были использованы подходы, предложенные в работах (Акопов А. С., Бекларян Л. А. и др., 2017; Акопов А.С., Бекларян Л.А. и др., 2014).

46 Разработанная модель эколого-экономической системы города (на примере г. Ереван, Республика Армения) была реализована в системе имитационного моделирования AnyLogic. Фрагмент имитационной модели представлен на рис. 2., где показана панель управления моделью с визуализацией динамики распространения выбросов на карте г. Ереван, при различных сценариях озеленения.

47 Для реализации подобной агентно-ориентированной имитационной модели были разработаны оригинальные Java-классы (т.е. не относящиеся к стандартному классу Agent, поддерживаемому AnyLogic) применение которых позволило спроектировать модель с очень большим числом (более 10000) взаимодействующих агентов.

48

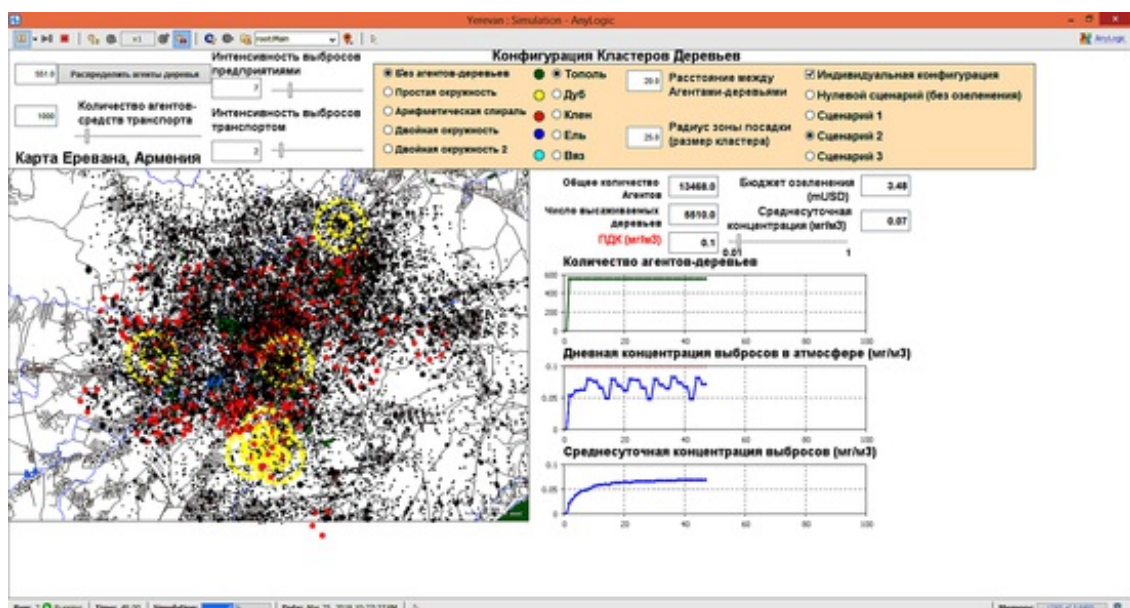


Рис. 2. Агентная модель распространения вредных выбросов в городе, реализованная в системе AnyLogic.

49 Отметим, что целевыми функционалами в рассматриваемой системе являются прогнозируемое значение среднесуточной концентрации вредных веществ в атмосфере и бюджет на озеленение, которые должны быть минимизированы. При этом имеется некоторый набор управляющих параметров, в частности, конфигурация кластеров деревьев (окружность, двойная окружность, арифметическая спираль и т.д.), типы деревьев, высаживаемых индивидуально внутри каждого кластера, количество агентов-деревьев в каждом кластере (определяемое эндогенно в результате управления геометрией кластеров, расстояниями между деревьями, радиусом зоны высадки и др.).

50 Основным способом поиска решений для рационального распределения деревьев в городе с использованием имитационной модели рис. 2 является предложенный ранее параллельный многоагентный генетический оптимизационный алгоритм (MAGAMO), описанный в работах (Акопов А.С., Невенцев М.А, 2013; Акопов А.С., 2014).

51 Особенностью данного генетического алгоритма (MAGAMO), является распределение искомым переменных по агентам-процессам, реализующим собственную эволюционную стратегию поиска оптимальных (недоминируемых) значений искомым переменных дискретного типа. В результате, удается обеспечить поиск Парето оптимальных решений в агентно-ориентированных системах большой размерности. Отметим, что разработанная нами имитационная модель включает более 10000 взаимодействующих агентов (в том числе, агенты-выбросы, агенты-предприятия, агенты-транспортные средства, агенты-деревья) и относится к классу систем большой размерности. Отметим, что оптимальное решение ищется, по сути, для каждого кластера деревьев и агента-дерева на индивидуальном уровне.

52 Итак, в данной работе был предложен новый подход к моделированию эколого-экономической системы города, в частности, динамики загрязнения воздуха в городе с использованием методов агентного моделирования и эвристической оптимизации. Основная особенность разработанной методологии заключается в учете механизма сложного взаимодействия агентов-выбросов с агентами-деревьями на индивидуальном уровне, динамика которых описывается системой дифференциальных уравнений с учетом абсорбционно-диффузионных эффектов в реальной эколого-экономической системе. Данное исследование направлено, в основном, на решение задач оптимального распределения агентов-деревьев и управления конфигурацией кластеров деревьев в городе с целью минимизации среднесуточной концентрации загрязнения, наблюдаемой в зонах действия мониторинговых станций.

53 Исследование проведено на примере города Еревана, Республика Армения с использованием реальных данных предоставленных Центром Эколого-Ноосферных исследований Национальной Академии Наук Республики Армения, а также с учетом ряда допущений, касающихся в основном известных характеристик моделируемых агентов-деревьев (таких, как стоимость посадки, коэффициент абсорбции вредных выбросов, радиус кроны и др.). Разработанная система поддержки принятия решений по эколого-экономическому планированию отвечает на важные вопросы по выбору рациональной стратегии озеленения в городе, например, где должны быть расположены кластеры деревьев и отдельные деревья в городе, какие типы деревьев лучше подходят для снижения концентрации загрязнения воздуха, сколько деревьев необходимо посадить и какой оптимальный бюджет озеленения и др.

Агентное моделирование эколого-экономической системы города (на примере г. Ереван, Республика Армения)

Акопов А. С.

*Ведущий научный сотрудник ЦЭМИ РАН
Российская Федерация, Москва,*

Бекларян Г. Л.

*Главный экономист Аналитического Центра «ЦЭМИ-ГЕНКЕЙ»
Российская Федерация, Москва,*

Бекларян Л. А.

*ЦЭМИ РАН
Российская Федерация, Москва,*

Аннотация

В данной статье представлен новый агентно-ориентированный подход к моделированию динамики выбросов вредных веществ в городе (на примере г. Ереван, Республика Армения) с целью минимизации концентрации вредных веществ в атмосфере при имеющимся бюджетном ограничении. Разработанная агентно-ориентированная модель реализована в системе AnyLogic с использованием оригинальных Java-классов, моделирующих поведение соответствующих агентов. Приводится краткое формальное описание модели распространения вредных выбросов в городе на основе системы дифференциальных уравнений, учитывающих сложный механизм абсорбционно-диффузионного взаимодействия агентов-выбросов и агентов-деревьев.

Ключевые слова: агентное моделирование, эколого-экономическая система, загрязнение воздуха, динамика выбросов, Армения

Дата публикации: 30.12.2017

Ссылка для цитирования:

Акопов А. С. , Бекларян Г. Л. , Бекларян Л. А. Агентное моделирование эколого-экономической системы города (на примере г. Ереван, Республика Армения) // Искусственные общества. 2017. Т. 12. Выпуск 3-4 [Электронный ресурс]. Доступ для зарегистрированных пользователей. URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800000109-8-1/> (дата обращения: 09.08.2020). DOI: 10.18254/S0000109-8-1