

КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ХАРАКТЕР ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ УРБОЭКОСИСТЕМЫ

Ильченко И.А.

(Таганрогский институт управления и экономики,

г. Таганрог)

kafedra_eif@mail.ru

Представлена модель урбоэкосистемы, разработанная на основе когнитивных карт механизмов химического загрязнения компонентов урбоэкосистемы в летний и зимний периоды соответственно, и представлены результаты моделирования.

Ключевые слова: химическое загрязнение урбоэкосистемы, когнитивная карта, когнитивное моделирование, импульсное воздействие

Введение

Загрязнение природной среды является сегодня одной из острых глобальных экологических проблем и наблюдается не только на глобальном, но и на региональном и локальном уровнях [1,5]. Несмотря на тотальный характер этого явления необходимо своевременно предпринимать соответствующие меры по снижению степени загрязнения окружающей среды и в дальнейшем по предотвращению этого опасного явления как в международном масштабе, так и в пределах отдельных государств, районов и экосистем. Наиболее опасным видом загрязнения на сегодняшний день является химическое, а самыми уязвимыми объектами загрязнения – искусственно созданные экосистемы [3]. Поскольку большая часть населения планеты проживает в городах, представляющих собой неустойчивые урбоэкосистемы, то проблема установления характера и возможных последствий

химического загрязнения таких экосистем является актуальной в связи с необходимостью обеспечения благоприятных условий для жизнедеятельности этой группы населения.

Модель урбоэкосистемы, разработанная на основе когнитивных карт механизмов химического загрязнения компонентов урбоэкосистемы

Для изучения характера химического загрязнения урбоэкосистемы в зависимости от сезонов года и присущих им климатических особенностей, оказывающих влияние на миграцию поллютантов между компонентами системы, были разработаны когнитивные карты $G1$ и $G2$ для теплого и холодного сезонов (рис. 1, 8). Построение когнитивных карт и последующее ситуационное моделирование было проведено с помощью вычислительных программ ПС КМ [2, 6]. Анализ обеих карт показывает, что основными абиотическими компонентами городской экосистемы, подвергающимися влиянию стационарных и подвижных источников загрязнения, являются атмосферный воздух, почва, грунтовые и подземные воды, а аналогичными биотическими реципиентами – растительность и население. К сожалению, оценить влияние химического загрязнения на городскую фауну не представляется возможным из-за отсутствия соответствующих данных. В когнитивной карте $G1$ присутствуют 4 цикла с положительной обратной связью: 1) цикл $V1-V3-V1$ характеризует влияние растительности на состав воздуха, 2) цикл $V1-V4-V1$ – перенос загрязнителей между воздухом и почвой, 3) цикл $V4-V3-V4$ – перенос загрязнителей между растительностью и почвой, 4) цикл $V1-V4-V3-V1$ – миграцию загрязнителей из воздуха в почву, затем в растения и далее влияние растительности на состав атмосферного воздуха (рис.1). Последний цикл отражает взаимодействие аэро-, гео- и биосистем (роль последней в урбоэкосистеме выполняет растительность) в поддержании естественных параметров среды. В г. Таганроге подземные водоисточники используются для удовлетворения потребностей населения в питьевой воде и тем самым оказывают влияние на

здоровье горожан. Разработанная модель урбоэкосистемы не рассматривает движения воздушных масс, в результате которого происходит рассеивание загрязнителей и снижение загрязнения воздушного бассейна в пределах городской территории. В связи с этим проведенное моделирование по своему характеру является нединамическим и, следовательно, позволяет оценить вероятные критические уровни загрязнения городской среды обитания с позиций предельно допустимых уровней загрязнения и предельно допустимых концентраций поллютантов.

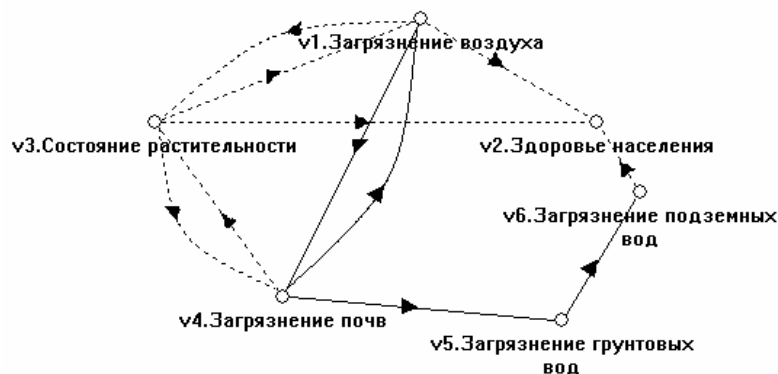


Рис. 1. Когнитивная карта G1 «Механизм химического загрязнения компонентов урбоэкосистемы в летний период»

Анализ когнитивной карты G1 показывает, что некоторые поллютанты воздушной среды могут мигрировать по маршруту V1-V4-V5-V6-V2, обуславливая опосредованное влияние загрязнения воздуха на здоровье людей, которое проявляется через воздействие первичных загрязнителей, а также вторичных загрязнителей, образующихся в почве из первичных и в растворенном виде поступающих в подземные источники водоснабжения. Наличие 4-х циклов с положительной обратной связью свидетельствует о структурной неустойчивости системы [4]. Однако расчет собственных чисел матрицы отношений показал, что всего таких чисел 6, из них максимальное по модулю со-

ставляет 0,52, и, следовательно, можно ожидать проявления системой некоторой устойчивости.

Значения весовых коэффициентов дуг e_{ij} когнитивной карты были определены на основании среднесезонных данных экологического и социально-гигиенического мониторинга г. Таганрога и соответственно равны: $e_{12} = -0,4$; $e_{13} = -0,4$; $e_{31} = -0,2$; $e_{14} = 0,7$; $e_{43} = -0,3$; $e_{45} = 0,5$; $e_{56} = 0,5$; $e_{62} = -0,3$; $e_{41} = 0,2$; $e_{34} = -0,1$; $e_{32} = -0,1$.

В сценарии 1 активизировалась вершина V1 «Загрязнение воздуха» путем внесения импульсов разной величины и изучалось изменение контролируемых параметров, в качестве которых были выбраны загрязнение воздуха, загрязнение почв, состояние растительности и здоровье населения. В процессах 1 и 2 характер изменения контролируемых параметров аналогичен (рис. 2, 3): на 1-м такте в вершину V1 однократно вносится соответствующий импульс, на 2-м такте начинает увеличиваться загрязнение почв и ухудшаться состояние растительности и здоровье населения, далее характер изменения этих параметров сохраняется, и к 6-7 тактам наблюдается стабилизация данных показателей.

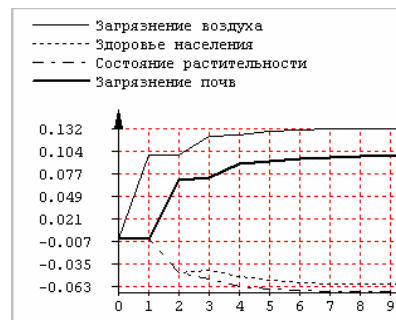


Рис. 2. Внесение импульса +0,1 в вершину V1 карты G1

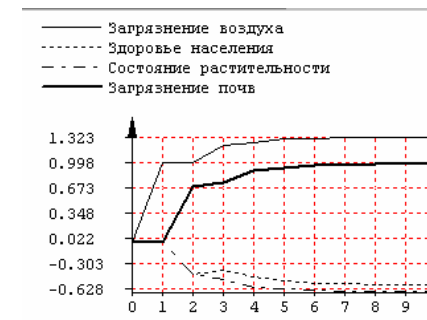


Рис. 3. Внесение импульса +1,0 в вершину V1 карты G1

В 3-м процессе этого сценария (рис. 4) импульс величиной +0,1 вносится с 1-го по 10-й такты моделирования, что приводит к непрерывному росту уровней загрязнения воздуха и почвы и

ухудшению состояния растительности и здоровья населения. Однако после прекращения возмущающего воздействия на систему изменение ее контролируемых характеристик замедляется, и к 13-14 тактам наблюдается их стабилизация. Следующий этап моделирования был направлен на выяснение роли растительности в поддержании качества городской среды обитания (сценарий 2). Одновременная подача импульсов величиной $+0,1$ в вершины $V1$ и $V3$ (рис.5) несколько изменяет поведение контролируемых параметров по сравнению с процессом 1 сценария 1 (рис.2), вызывая их колебания со 2-го по 4-й такты и стабилизацию к 5-6 тактам на меньших по модулю значениях.

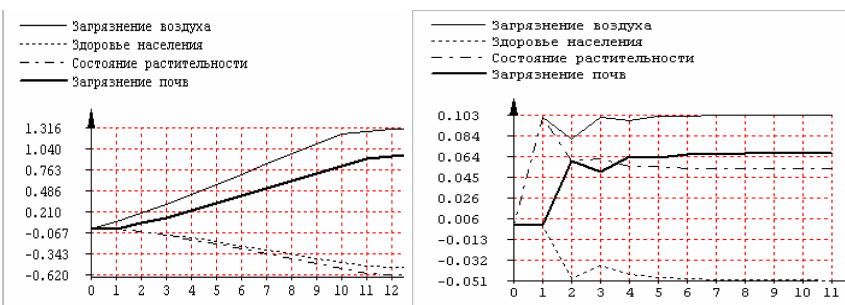


Рис. 4. Последовательное внесение импульса $+0,1$ в вершину $V1$ карты $G1$ с 1-го по 10-й такты моделирования

Рис. 5. Внесение импульсов величиной $+0,1$ в вершины $V1$ и $V3$ карты $G1$

Введение дополнительной процедуры по очистке воды из подземных водоисточников (сценарий 3, рис.6) перед подачей ее в городскую водопроводную сеть позволяет уменьшить отрицательное воздействие недоброкачественной питьевой воды на здоровье населения, хотя стабилизация остальных изучаемых показателей происходит на тех же уровнях, что и в предыдущем сценарии.

Комплексный подход к улучшению городской среды обитания (сценарий 4) сочетает меры по защите атмосферного воздуха от загрязнения стационарными и подвижными источниками

($q1=-0,1$), по озеленению территории ($q3=+0,1$) и очистке воды из подземных водоисточников ($q6=-0,1$) и является наиболее эффективным, поскольку дает возможность снизить исходные уровни загрязнения воздуха и почв и улучшить состояние растительности и здоровье населения (рис.7).

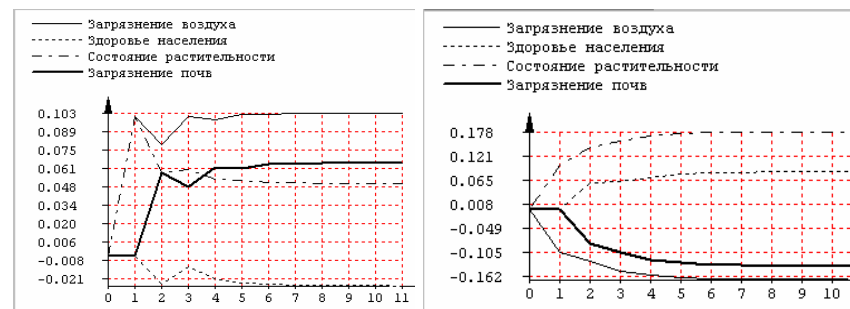


Рис. 6. Внесение импульсов величиной $+0,1$ в вершины $V1$ и $V3$ и импульса $-0,1$ в вершину $V6$ карты $G1$

Рис. 7. Внесение импульсов величиной $-0,1$ в вершины $V1$ и $V6$ и импульса $+0,1$ в вершину $V3$ карты $G1$

На основании результатов моделирования этих четырех сценариев для когнитивной карты $G1$ видно, что загрязнение воздуха оказывает не только прямое влияние на состояние растительности и почв, но и косвенно воздействует на самое себя через загрязнение почв и ухудшение состояния растительности по принципу положительной обратной связи. Взаимодействие компонентов городской экосистемы в условиях химического загрязнения осуществляется между подсистемами воздух-почва, воздух-растительность и почва-растительность по принципу положительной обратной связи и проявляется в миграции первичных загрязнителей и в образовании и миграции вторичных загрязнителей. Кроме того, биогенная природа растительности и биокосная природа почв создают предпосылки для накопления в них поллютантов, что также усиливает опасность последствий химического загрязнения урбоэкосистемы. По аналогии с биогеохимическими циклами химических элементов в биосфере, в

городской экосистеме можно выделить обменный фонд миграции загрязнителей (городской воздушный бассейн) и резервный фонд (городские почвы).

Анализ среднесезонных данных социально-гигиенического и экологического мониторинга г. Таганрога свидетельствует об увеличении уровня загрязнения атмосферного воздуха в зимние месяцы года. Для изучения механизма химического загрязнения урбоэкосистемы в этот период времени когнитивная карта *G1* была преобразована в когнитивную карту *G2* (рис. 8) путем удаления дуги *V1-V3* и изменения весовых коэффициентов дуг *V4-V1* и *V4-V5* [4].

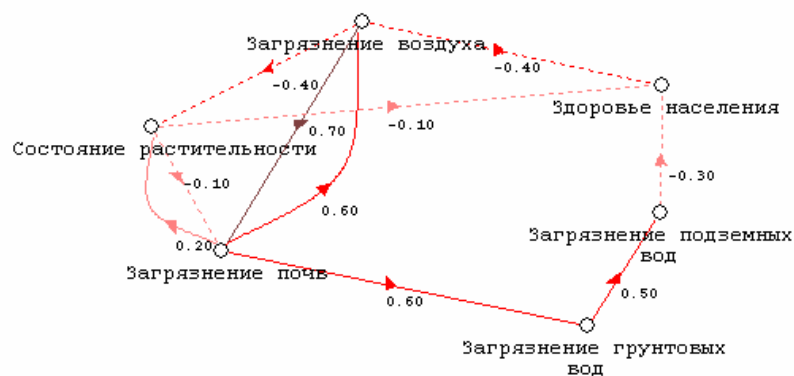


Рис. 8. Когнитивная карта *G2* «Механизм химического загрязнения компонентов урбоэкосистемы в зимний период»

Действительно, перемена климатических условий приводит к изменению роли растительного компонента в миграции поллютантов в экосистеме: листопадные растения прекращают активно поглощать загрязнители, в отсутствие травяного покрова с поверхности почвы сдуваются пыль и др. загрязнители, вследствие чего загрязнение воздуха возрастает. С точки зрения термодинамики на уровень химического загрязнения воздуха в первую очередь оказывают влияние его температура, относи-

тельная влажность и скорость ветра. В условиях нестационарного моделирования скорость ветра не принимается во внимание, тогда как температура и влажность воздуха, режим которых напрямую связан с сезонными изменениями климата, играют главную роль в процессе миграции поллютантов внутри урбоэкосистемы и определяют итоговый уровень загрязнения и обусловленную им величину экологического риска. В условиях резко континентального климата г. Таганрога летний период характеризуется относительно высокими среднесуточными температурами воздуха и низкой влажностью (т.е. сухо и жарко), а зимний период – низкими температурами воздуха и недостаточным количеством осадков (типичны морозные бесснежные зимы). С понижением температуры воздуха возрастает концентрация в нем кислорода, являющегося сильным окислителем (например, для превращения оксида углерода (II) в оксид углерода (IV)), однако низкая температура сильно замедляет протекание этого процесса, в связи с чем и не наблюдается снижение загрязнения воздуха оксидом углерода (II) [3]. Кроме того, стационарные условия характеризуются однородностью воздушной массы в пределах городской территории, наличием слабого ветра или низких приподнятых инверсий, устойчивой стратификацией атмосферы. Густые дымки, туманы, слабые осадки также способствуют накоплению загрязнителей в воздухе [7].

В структуре когнитивной карты *G2* по сравнению с когнитивной картой *G1* имеются только 2 цикла с положительной обратной связью: *V1-V4-V1* и *V1-V3-V4-V1*, – однако ожидать усиления саморегулирующих свойств системы было бы преждевременным, принимая во внимание значение вклада растительного компонента в поддержание естественных параметров урбоэкосистемы. На рис. 9 приведены результаты моделирования изменения параметров урбоэкосистемы, когда в вершину *V1* вносится импульс величиной +0,1. Стабилизация контролируемых показателей происходит при значениях, более сильно отклоняющихся от таковых в аналогичном процессе для когнитивной карты *G1* (рис.2). Поскольку управление качеством окружающей среды

в зимний сезон не позволяет проводить озеленительные мероприятия, то следует придерживаться более жестких мер по очистке газообразных примесей предприятий и автотранспорта.



Рис. 9. Внесение импульса $+0,1$ в вершину VI карты G2

Заключение

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы и рекомендации. Во-первых, применение когнитивных технологий для решения проблем стратегического управления состоянием природных объектов в условиях химического загрязнения является перспективным, поскольку разработка когнитивных карт и последующее моделирование на их основе различных сценариев изучаемых процессов позволяет не только прогнозировать возможность возникновения определенной экологической проблемы в данном объекте (например, загрязнение подземных источников водоснабжения, ухудшение здоровья населения и др.) и промоделировать вероятность ее развития, но и заранее предпринять комплекс мер (экологических, экономических, административных и др.) по снижению степени экологического риска. Во-вторых, полученные результаты сценарного моделирования показывают, что процессы обмена

веществом и энергией, протекающие в городской экосистеме и играющие важную роль в поддержании экологического равновесия, являются импульсно неустойчивыми вследствие сложных взаимодействий между составляющими ее подсистемами и их компонентами, а также благодаря таким ее свойствам, как сверхоткрытость, сильная зависимость от внешнего окружения, повышенная аккумулятивность и т.д. Поэтому поддержание сложной организации, особой внутренней структуры и приемлемых для жизнедеятельности горожан условий окружающей среды требует затраты больших количеств энергии и больших организационных усилий на всех уровнях управления. В-третьих, смена климатических условий в течение года сопровождается изменением характера процессов миграции загрязнителей в экосистеме, вследствие чего целесообразно рекомендовать установление и использование сезонных значений предельно допустимых концентраций поллютантов в процессах управления состоянием городской окружающей среды. В-четвертых, для достижения наиболее благоприятных значений параметров городской среды обитания и улучшения здоровья горожан следует использовать комплексный подход, сочетающий проведение мероприятий по защите атмосферного воздуха от загрязнения стационарными и подвижными источниками, озеленению (фитомелиорации) и предварительной очистке вод из подземных водоисточников перед подачей их в городскую водопроводную сеть.

Литература

1. ГОРЕЛОВА Г.В., ИЛЬЧЕНКО И.А. *Когнитивное моделирование процессов загрязнения урбоэкосистем* // Сб. трудов 4-й Международной конференции «Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций» CASC'2004, ИПУ РАН. Москва, 2004. Т.1. С.60–67.
2. ГОРЕЛОВА Г.В. и др. *Методы и алгоритмы моделирования развития сложных ситуаций*. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003.
3. ИЛЬЧЕНКО И.А. *Управление качеством окружающей среды при химическом загрязнении*. Таганрог: Изд-во ТИУиЭ, 2004.
4. ИЛЬЧЕНКО И.А. *К вопросу об учете климатических условий при выработке стратегии управления параметрами городской среды обитания* // Сб. докладов IV Международной научно-практической конференции «Проблемы регионального управления, экономики, права и инновационных процессов в образовании». Таганрог, 2005. Т.2. С.64–73.
5. ИЛЬЧЕНКО И.А., ГОРЕЛОВА Г.В. *Комплексный когнитивный анализ факторов городской среды обитания и их влияния на здоровье горожан* // Сб. трудов 5-й Международной конференции «Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций» CASC'2005, ИПУ РАН. Москва, 2005. – С.60–67.
6. КУЛЬБА В.В., и др. *Сценарный анализ динамики поведения социально-экономических систем*. М., 2002 (Научное издание / ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН).
7. ХРОМОВ С.П. *Метеорология и климатология: Уч. пос.* / С.П. Хромов., М.А. Петросянц. М.: Высшая школа, 2002.