

этом случае, предметом обсуждений может быть только функция F . Поскольку, в $K_R(\Psi_i, \Psi_j)$ охватывается целый фрагмент W_i в частности отображения $A_i(t)$, то естественно предположить, что в таком фрагменте отображаются глобальные для системы защиты доступа параметры. В связи с этим конструктивное рассмотрение K_R возможно в рамках рассмотрения BSD в целом или в рамках отдельных режимов функционирования BSD.

Из изложенного выше, особенно, в части касающейся установления граничных значений параметров $z(x_i)$, $h(\phi_i)$ а также $K_R(\Psi_i, \Psi_j)$ видно, что для решения задач установления допустимых значений параметров, а также для установления более полных взаимосвязей между семантическими параметрами, необходимо использовать подходы, в которых исследуется работа системы BSD в целом, что связано с экспериментальными исследованиями.

1. *Davydenko A.* Formalization level of abstraction of state information resources access system. Scientific letters of academic society of Michel Baludansky, ISSN 1338-9432. Volume 4, 1 2016, p.35-38.

2. *Бронштейн И. Н.* Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. Изд. 13-е, испр. / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, 1986. – 544 с.

3. *Heintze N., Tygar I.D.* A Model for Secure Protocols and their Compositions // Proc. Of the IEEE Computer Society Symposium on Research in Security and Privacy, 1994.

Поступила 3.04.2017р.

УДК 519.6 : 504.064

И. П. Каменева, В. А. Артемчук, А. В. Яцишин, А. Ф.Бугаев, г. Киев

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Abstract. Theoretical and terminological aspects of the concept of sustainable development of ecological systems are discussed. Methods for studying the stability of territorial systems, in particular, methods of catastrophe theory, adapted to the problems of analyzing monitoring data, are considered. Ecological indices and technogenic risks are used as key parameters for the study of the sustainability of territories.

Вступление. К актуальным проблемам современной науки относится проблема информационного и компьютерного обеспечения научных

исследований, разработка методов упорядочивания и интеграции информационных ресурсов. Эта проблема особенно актуальна для тех направлений, перед которыми стоят задачи своевременно обеспечить органы управления и частных лиц ценной информацией, необходимой для принятия решений. В первую очередь, это относится к разработке методов и средств, направленных на управление процессами сохранения и развития территориальных систем, испытывающих высокие уровни техногенных нагрузок.

Отметим также, что в последние десятилетия проблема исследования и моделирования сложных социально-экологических процессов анализируется в рамках концепции устойчивого (сбалансированного) развития окружающей среды.

Концепция устойчивого развития отличается от предыдущих документов международного уровня тем, что к глобальным проблемам впервые подошли с учетом интересов будущих поколений. Эта концепция получила широкий резонанс в научном мире [1, 4-13 и др.]. Она направлена на преодоление глобального кризиса в развитии взаимодействия человека с окружающей средой.

Далее приведены основные положения и термины, применяемые для исследования моделей устойчивого развития и устойчивости территориальных систем. Хотя концепция принята в 1991 году, до последнего времени осталось немало противоречий и несогласованностей относительно определения основных понятий этой концепции, их содержательной интерпретации и практического использования.

Основные положения. Под территориальной системой будем понимать определенную совокупность параметров этой системы, определяющих ее состояние и тенденции к изменению. Любые территориальные системы (как природные, так и социальные) характеризуются способностью поддерживать свое стабильное состояние (гомеостаз) с помощью циклической структуры связей.

Безопасность таких систем будем рассматривать как отсутствие возможных нарушений гомеостаза в течение достаточно длительного промежутка времени. Для количественной оценки уровня безопасности сложной системы используется понятие системного риска, которое связывается с неуправляемым или недостаточно управляемым данной системой фактором, способным нарушить или ослабить ее гомеостаз [16].

В целом, понятие устойчивого развития весьма неоднозначно и даже противоречиво. Его перевод на разные языки требует определенных соглашений. В частности, в русском переводе в настоящее время можно встретить три возможных варианта: это устойчивое развитие, стабильное развитие и сбалансированное развитие. На наш взгляд, более удачным следует считать термин «устойчивое развитие», поскольку динамический процесс развития сложной системы должен включать как стабильные, так и не стабильные ситуации. Кроме того, понятие об устойчивости определенной системы можно соотнести с исследованием устойчивости методами теории катастроф и математической экологии, где уже разработан математический аппарат для анализа поведения сложных динамических систем.

Обычно под развитием системы понимают необратимое направленное закономерное изменение исследуемой системы, то есть процесс ее движения к более эффективному (оптимальному) состоянию. Направленность этого движения соответствует указанным изменениям определенного вектора, то есть речь идет об упорядоченном процессе совершенствования системы, который противостоит деструкции [4]. Согласно другому определению, к процессам развития сложной системы относим процессы, которые увеличивают ее способность к самосохранению и самовосстановлению [16].

Таким образом, в одно понятие вкладывают термины с противоположными значениями. Ведь «устойчивость» предполагает состояние равновесия, а «развитие» возможно только при условии выхода системы из состояния равновесия. Поэтому наше представление об устойчивом развитии связано с воспроизведением состояний гомеостаза на разных уровнях развития системы при условии, чтобы параметры ее состояния не выходили за пределы значений, ведущих к разрушению системы.

Известно, что развитие функциональных возможностей системы зависит от роста сложности ее организации. В частности, на природные системы действуют разрушительные силы, причем риск разрушения для сложных систем растет в соответствии с ростом сложности. То есть сложные системы должны иметь или развивать определенные средства для противодействия процессам разрушения.

К таким средствам можно отнести механизмы адаптации к изменениям окружающей среды, которые мы наблюдаем в мире животных. На более высоком уровне сложности это средства активного противодействия процессам роста энтропии, которые получили свое воплощение в сознании. То есть носители разумной жизни не только адаптируются к природной среде, но и меняют ее в желаемом направлении, опираясь на накопленный опыт и знания.

К сожалению, в наше время развитие сознания человека все еще не соответствует уровню сложности тех экологических систем, которыми он пытается управлять, то есть побеждают силы *энтропийного* разрушения природных систем. Поэтому единственный шанс для сохранения природной среды – это развитие и укрепление *коллективного сознания*, которое приобретет достаточный уровень компетентности для определения задач устойчивого развития, коллективного плана его реализации и организации совместных усилий в рамках достижения этой цели [4]. Таким образом, концепция устойчивого развития может рассматриваться как одна из первых попыток подобного объединения специалистов многих стран.

Теоретические работы в этой области направлены на поиск возможных траекторий устойчивого развития для сложных процессов, происходящих в ноосфере. Если такие траектории действительно существуют и могут быть реализованы в виде моделей, то возникает задача разработки программ перехода на эти траектории, то есть определение условий (точнее, параметров), которые соответствуют самым перспективным моделям

возможного развития исследуемых систем в будущем.

Принципиальная возможность измерения (оценивания) устойчивости развития социума обосновывается в работе [11]. Под измерением устойчивости динамической системы следует понимать определение параметров состояния и динамики оцениваемых систем по значениям модельных характеристик, признанных оптимальными. Если допускается хотя бы теоретическая возможность создания моделей оптимального развития больших систем, то такие модели рекомендуется использовать в качестве эталонов. Сопоставляя параметры реальных систем с эталонами, можно определить показатели отклонения данной системы от оптимальной траектории ее поведения.

На данном этапе подходы к исследованию устойчивого развития можно разделить на два направления. Первое направление доминирует на глобальном и региональном уровне (взгляд «сверху», то есть сравнительный анализ ситуации в разных странах или регионах). Это исследования, направленные на вычисление индикаторов и индексов устойчивого развития территорий по методикам, предложенным Комиссией ООН и другими международными организациями [6, 8, 12, 13 и др.].

Ко второму направлению следует отнести работы, направленные на исследование устойчивости отдельных процессов, происходящих в конкретных экологических или социальных системах. Ведь только на конкретных примерах анализа динамики отдельных систем можно обнаружить зависимость траектории развития (или перехода к критическому состоянию) данной системы от значений тех или иных параметров.

Далее рассмотрим одну из приоритетных задач оценивания и моделирования процессов устойчивого развития на территориальном уровне – определение границ устойчивости исследуемых территориальных систем. Для определения допустимых границ устойчивости необходимо указать такие предельно допустимые уровни техногенных нагрузок на урбанизированные территории, при которых еще возможно сохранить достаточно устойчивое состояние этих территорий.

Методы исследования устойчивости. Для анализа устойчивости территориальных систем предлагается использовать некоторые понятия и методы, предложенные в рамках теории катастроф [2, 3].

В теории катастроф процесс эволюции сложной системы описывается векторным полем в фазовом пространстве. Точка фазового пространства задает состояние системы. Приложенный к этой точке вектор указывает скорость изменения состояния. В отдельных точках этот вектор обращается в нуль. Такие точки называются положениями равновесия, т.е. состояние не меняется со временем. Катастрофы – это скачкообразные изменения, возникающие как внезапные реакции системы на изменение внешних условий.

Траектории в фазовом пространстве, образованные последовательностью состояний исследуемого процесса, называют фазовыми траекториями, или фазовыми кривыми. Различные варианты поведения этих траекторий в

окрестности положения равновесия образуют фазовые портреты. Наиболее типичные фазовые портреты описаны А. Пуанкаре (1879). Если устойчивое положение равновесия описывает установившийся режим в экологической системе, то при критическом значении одного из параметров система совершает скачок, переходя на другой режим функционирования.

В теории катастроф используются методы асимптотического анализа множества нелинейных систем, которые можно описать уравнением вида:

$$x = -\frac{\partial U(x(t), \lambda(t))}{\partial \lambda},$$

где $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$ – вектор параметров [2].

Для уточнения понятия об устойчивости динамических систем напомним определение устойчивости по Ляпунову. Траектория динамической системы считается устойчивой, если в рамках определенных отклонений параметров этой системы можно указать ограничения, при которых система не выйдет за границы устойчивости.

Различают два типа устойчивости: резистентная (способность сохранять устойчивое состояние при воздействии определенных нагрузок) и упругая (способность быстро восстанавливаться).

Анализ устойчивости модели дает возможность формировать разные гипотезы о поведении моделируемого объекта. Если одна из гипотез достаточно точно отображает поведение реального объекта, то можно говорить об адекватности данной модели.

Теория катастроф возникла в результате объединения теории бифуркаций Пуанкаре-Андронova и теории особенностей гладких отображений Уитни (1955). Термин «бифуркация» означает разделение и используется для обозначения качественного изменения (перестройки) поведения системы при изменении отдельных ее параметров. Теория Уитни представляет обобщение исследования функций на экстремумы, в котором рассматриваются наборы функций нескольких переменных. Теория катастроф, таким образом, может использоваться для качественного анализа поведения динамических систем в разных областях. Основные виды катастроф приведены в работах [2, 3, 16].

Известно два варианта потери устойчивости при изменении одного или нескольких параметров системы. *Мягкая потеря устойчивости* происходит в том случае, когда из положения равновесия рождается предельный цикл. Устойчивость равновесия переходит к циклу, а само равновесие становится неустойчивым. В результате потери равновесия устанавливается колебательный периодический режим с постепенным ростом амплитуды колебаний (в определенных границах).

При *жесткой потере устойчивости* система выходит из стационарного режима скачком. В этом случае незначительные случайные возмущения выбрасывают систему из области притяжения старого режима раньше, чем эта область исчезнет. Т.е. система резко меняет свое поведение, теряя связь с

предшествующими событиями.

Образы установившихся режимов движения получили название аттракторов, т.к. они притягивают соседние режимы (или переходные процессы). Математический образ детерминированных неперiodических процессов, для которых невозможен долгосрочный прогноз и приходится обращаться к вероятностным характеристикам, принято называть *странным аттрактором* [16]. В практических задачах исследования устойчивости территориальных систем аттракторы можно изучать на основе временных рядов, построенных по данным мониторинга. В частности, для исследования устойчивости урбанизированных территорий к техногенным загрязнениям атмосферного воздуха использовались данные мониторинга, опубликованные в [17].

Динамические процессы в природных системах имеют периодический характер, определяемый сезонной динамикой отдельных переменных. Под влиянием сезонных изменений процесс техногенного загрязнения территорий приобретает достаточно сложный динамический режим, включающий нерегулярные колебания и циклы.

Для исследования возможных нарушений гомеостаза территориальных систем, отслеживаемых по данным мониторинга, воспользуемся дискретным аналогом метода фазовых координат в пространстве экологических параметров, где в качестве координат выбираются наиболее информативные показатели качества окружающей среды. Примеры, иллюстрирующие предложенный подход, показаны на рис. 1 и 2.

На рис. 1 показан пример, где сезонные колебания концентраций формальдегида в атмосферном воздухе образуют замкнутый цикл. Максимальные уровни концентраций формальдегида наблюдаются в летние месяцы.

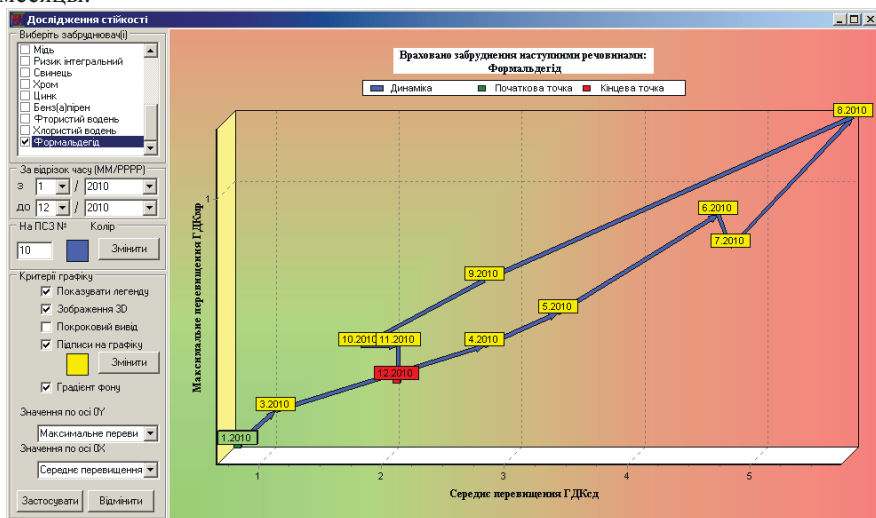


Рис. 1. Сезонный цикл колебаний для концентраций формальдегида (2010)

Отдельные наблюдения обозначены прямоугольниками, где указаны месяц и год наблюдения. Среднемесячные значения соединены между собой прямыми линиями, которые отображают последовательность проведения наблюдений.

На рис. 2 показана траектория изменения качества атмосферного воздуха в одном из центральных районов города Киева, построенная по многолетним данным мониторинга [17]. Здесь в качестве ключевого параметра используется индекс загрязнения атмосферы ИЗА, рассчитанный на основе наиболее опасных показателей загрязнения.

Основные значения показателей сконцентрировались в средней части рисунка, которую можно условно обозначить как *зону устойчивых состояний* для наблюдаемого уровня техногенных нагрузок на исследуемую территорию.

Графический образ на рис. 2 в интегрированном виде отображает большой объем данных мониторинга, полученный в течение семи лет. По значениям отдельных точек можно указать тенденции развития ситуации за этот период, выделить наиболее опасные значения и визуально определить пределы допустимых воздействий.

Выбор ключевых параметров для анализа устойчивости. В рамках проблемы экологической безопасности остановимся более детально на проблеме определения экологических индикаторов и индексов. Напомним, что термин экологический индикатор используется для описания отдельных экологических показателей, которые оказывают существенное влияние на уровень загрязнения исследуемых территорий, а термин *экологический индекс* – для определения комплексного показателя, который включает несколько таких индикаторов.

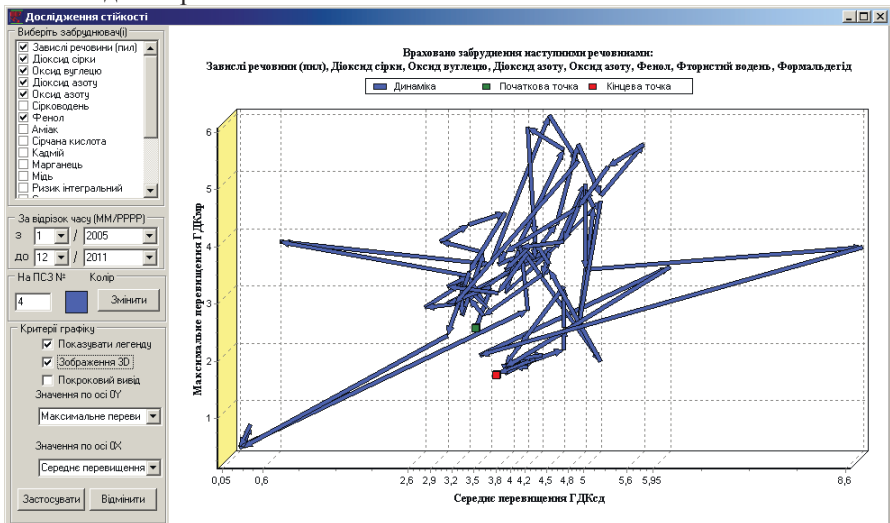


Рис. 2. Пример траектории, отображающей динамику индекса ИЗА.

Индексы экологического состояния исследуемых территорий можно получить на основе данных мониторинга этих территорий. Экологический мониторинг включает систему наблюдений за факторами, влияющими на окружающую среду, оценки фактического состояния природной среды, прогнозные оценки и определенные возможности контроля и управления.

Для определения индикаторов экологического состояния исследуемых территорий предложено три типа экологических показателей: 1) наиболее информативные из показателей, зафиксированных в результате измерения на постах наблюдения за состоянием окружающей среды (уровни превышения концентраций наиболее опасных веществ); 2) многомерные индексы экологического состояния исследуемых территорий, построенные по совокупности измеренных показателей; 3) оценки экологического риска (вероятностные распределения или поля риска), рассчитанные на основе данных мониторинга.

В результате анализа данных экологического мониторинга можно получить обобщенные оценки состояния природных систем, которые помогут определить критические ситуации, критические факторы и наиболее чувствительные к негативным воздействиям элементы природной среды, то есть отдельные территории, водные системы или группы риска, находящихся в условиях высоких техногенных нагрузок.

В области здравоохранения предметом мониторинга является интегральное влияние на человека негативных факторов окружающей среды. То есть медико-экологический мониторинг направлен на выявление и предупреждение критических ситуаций, опасных для здоровья людей.

Определение индикаторов экологического состояния и исследование устойчивости территориальных систем рассматривается в рамках комплексного подхода к решению задач мониторинга окружающей среды, предложенного в работах [8, 9].

Начальные этапы исследования направлены на создание средств упорядочения и синхронизации данных мониторинга. Предложены методы и алгоритмы систематизации данных из разных источников, предварительной обработки и интеллектуального анализа многомерной информации, а также средства визуализации данных мониторинга и результатов анализа в графическом и картографическом виде.

Перечислим основные этапы разработки информационных технологий для анализа данных мониторинга и исследования устойчивости территориальных систем:

- 1) разработка семантической структуры данных (состав загрязняющих веществ и их концентрации, сведения о превышении предельно допустимых концентраций максимально разовых и среднесуточных (ГДК_{мр} и ГДК_{сд}), характеристики техногенных предприятий и т.п.) и создание баз данных;

- 2) разработка программных средств ввода, редактирования и предварительной обработки данных мониторинга (в том числе, заполнение пропущенных данных, нормирование, выявление корреляционных и

регрессионных зависимостей);

3) разработка технологий интеллектуального анализа данных, выявление информативных факторов и построение семантических шкал для исследования устойчивости;

4) разработка ГИС-технологии отображения структуры пространственных данных на картографической основе для визуализации карт отдельных территорий, отображающих уровни техногенных нагрузок и рисков для здоровья населения;

5) создание специализированного интерфейса для исследования устойчивости территориальных систем, прогнозирования и выявления опасных ситуаций.

На основе предложенных методов и средств разработано информационно-программное обеспечение задач экологической безопасности, где предусмотрены возможности анализа сложных процессов и ситуаций на основе данных мониторинга отдельных регионов или территориальных систем. Детальное описание разработанных информационных технологий и программных средств приводится в работах [14, 18].

Выводы. Для практической реализации принципов устойчивого развития в Украине особого внимания требует развитие и модернизация системы мониторинга экологического состояния территориальных систем разного уровня, создание универсального информационно-программного обеспечения задач мониторинга, совершенствование способов прогнозирования критических ситуаций и принятия решений.

Среди математических методов исследования устойчивости территориальных систем особого внимания заслуживают методы теории катастроф, которые позволяют с помощью визуальных образов моделировать разные сценарии развития исследуемых систем, определяя допустимые границы устойчивых состояний.

Дальнейшее развитие методов моделирования и оптимизации поведения сложных систем в контексте их развития или деградации может быть реализовано на основе выявления ключевых параметров или индексов, определяющих особенности поведения исследуемой системы (параметров порядка).

1. Аналіз сталого розвитку – глобальний і регіональний контексти : У 2 ч. / Міжнар. рада з науки (ICSU) [та ін.] ; наук. кер. М. З. Згуровський. – К. : НТУУ «КПІ», 2010. – Ч. 1. Глобальний аналіз якості та безпеки життя людей. – 252 с.
2. Алексеев Ю.К., Сухоруков А.П. Введение в теорию катастроф: Учебное пособие. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 184 с.
3. Арнольд В.И. Теория катастроф. - М.: Наука, 1990. – 128 с.
4. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. – Новосибирск: ИМ СО РАН, 1999. – 270 с.

5. Згуровский М.З. Основы устойчивого развития общества: курс лекций в 2 ч. / М.З. Згуровский, Г.О. Статюха. – К.: НТУУ «КПИ», 2010. – Ч. 1. – 464 с.
6. Згуровский М.З., Статюха Г.А., Джигирей И.Н. Оценка устойчивого развития окружающей среды на субнациональном уровне в Украине // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2008. – № 4. – С. 7-20.
7. ИнтерКарто/ИнтерГИС 13: Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. Том I: Материалы Международной конференции, Ханты-Мансийск, Йеллоунайф, 12-24 августа 2007 г. / Ханты-Мансийск, Полиграфист, 2007. – 200 с.
8. Каменева І.П. Визначення параметрів стійкого розвитку на основі даних екологічного моніторингу / І.П. Каменева // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. – К., 2012. – № 62. – С. 60-68.
9. Каменева І.П. Комплексний аналіз екологічної безпеки міста на основі сучасних ГІС-технологій / І.П. Каменева, А.В. Яцишин, Д.О. Полішко, О.О. Попов // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2008. – № 5. С. 41-46.
10. Коптюг В.А. Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, июнь 1992г.): Информационный обзор. – Новосибирск: СО РАН, 1992. – 62 с.
11. Мазуров Ю.Л., Тикунов В.С. Измерение устойчивости развития социума: от интерпретации к расчетам / Материалы Международной конференции "InterCarto11", Ставрополь – Домбай – Будапешт, 25 сентября–3 октября 2005 г. – С. 303–307.
12. ООН. Комиссия по устойчивому развитию, индикаторы устойчивого развития: руководства и методология / Отчет 2001. – 315 с.
13. Основы стійкого розвитку. Навчальний посібник / За ред. д.е.н., проф. Л.Г. Мельника. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2005. – 654 с.
14. Розробка інформаційного та програмного забезпечення для аналізу і прогнозування техногенних ризиків на локальному та регіональному рівнях в задачах планування та управління процесами сталого розвитку: звіт про НДР / ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України; № ДР 0110U005223. – К., 2014. – 168 с.
15. Сердюцкая Л.Ф., Каменева И.П. Системный анализ и математическое моделирование медико-экологических последствий аварии на ЧАЭС и других техногенных воздействий. – К.: «Медэкол», 2000. – 173 с.
16. Управление риском: Риск. Устойчивое развитие. Синергетика. – М.: Наука, 2000. – 431 с.
17. Щомісячний бюлетень забруднення атмосферного повітря в Києві та містах Київської області. – К.: Центральна геофізична обсерваторія, 2005-2011 рр.
18. Яцишин А.В. Комплексне оцінювання та управління екологічною безпекою при забрудненнях атмосферного повітря. Дисертація докт. тех. наук. Київ, 2013. – 402 с.

Поступила 5.04.2017р.