



DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2022.4.1>

UDC 502.3:502.22

LBC 26.887-1

ON THE ISSUE OF PREDICTIVE ASSESSMENT OF TECHNOGENIC LOAD ON THE ATMOSPHERIC AIR OF URBAN ECOSYSTEMS

Min T. Nguen

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Elena A. Ivantsova

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Abstract. The development of models of the stability of the ecological situation in urban ecosystems is one of the constructive ways to achieve a balanced interaction of society and nature at the present stage. The most promising method for assessing technogenic actions is a model one using deterministic, probabilistic, mixed and simulation types of models of various processes. The most effective tool in assessing environmental risks are mathematical models described by systems of differential, integral, integral-differential with appropriate limiting and initial conditions. Of great interest are models for estimating the magnitude of the potential of atmospheric pollution in urban landscapes, local Gaussian models, deterministic models describing the process of increasing threats to the environment by a system of differential or integral equations with initial conditions, etc. It is established that the developed models do not allow to fully assess the state of ecosystems exposed to man-made loads when the production infrastructure of the region changes. The development of a new approach to constructing a model of the probabilistic distribution of pollutants and assessing the current state of atmospheric air pollution in urbanized territories based on multispectral satellite imagery data in order to obtain more informative indicators, increase the efficiency and reliability of information about the state of the ecological environment in a megalopolis is very relevant. Monitoring of the risks of atmospheric air pollution of territories using aerospace data will provide for the receipt, accumulation and pre-processing of space and ground-based information, their joint processing using GIS technologies and various software products, computer modeling to predict the direction and intensity of the passage of environmental processes, management decision-making and the development of measures to create optimal parameters of the state of the environment.

Key words: technogenic load, atmospheric air, urban ecosystems, mathematical modeling and environmental forecasting.

Citation. Nguen M.T., Ivantsova E.A. On The Issue of Predictive Assessment of Technogenic Load on the Atmospheric Air of Urban Ecosystems. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2022, vol. 12, no. 4, pp. 5-15. DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2022.4.1>

К ВОПРОСУ О ПРОГНОЗНОЙ ОЦЕНКЕ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ УРБОЭКОСИСТЕМ

Мин Тъи Нгуен

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Елена Анатольевна Иванцова

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. Разработка моделей стабильности экологической ситуации в урбоэкосистемах является одним из конструктивных путей достижения сбалансированного взаимодействия общества и природы на современном этапе. Наиболее перспективным методом оценки техногенных действий является модельный с использованием детерминированных, вероятностных, смешанных и имитационных типов моделей различных процессов. Наиболее эффективным инструментом в оценке экологических рисков являются математические модели, описываемые системами дифференциальных, интегральных, интегрально-дифференциальных с соответствующими предельными и начальными условиями. Большой интерес представляют модели оценки величины потенциала загрязнения атмосферы в урболандшафтах, локальные модели Гаусса, детерминированные модели, описывающие процесс нарастания угрозы для окружающей среды системой дифференциальных или интегральных уравнений с начальными условиями и пр. Установлено, что разработанные модели не позволяют в полной мере оценить состояние экосистем, подвергающихся техногенным нагрузкам при изменении инфраструктуры производства региона. Разработка нового подхода к построению модели вероятностного распределения загрязняющих веществ и оценке текущего состояния загрязненности атмосферного воздуха урбанизированных территорий на основе данных многоспектральной космической съемки с целью получения более информативных показателей, повышения оперативности и достоверности информации о состоянии экологической среды в мегаполисе, является весьма актуальной. Мониторинг рисков загрязненности атмосферного воздуха территорий с использованием аэрокосмических данных будет предусматривать получение, накопление и предварительную обработку космической и наземной информации, их совместную обработку с применением ГИС-технологий и различных программных продуктов, компьютерное моделирование для прогнозирования направления и интенсивности прохождения экологических процессов, принятие управленческих решений и разработку мероприятий по созданию оптимальных параметров состояния окружающей среды.

Ключевые слова: техногенная нагрузка, атмосферный воздух, урбоэкосистемы, математическое моделирование и экологическое прогнозирование.

Цитирование. Нгуен М. Т., Иванцова Е. А. К вопросу о прогнозной оценке техногенной нагрузки на атмосферный воздух урбоэкосистем // Природные системы и ресурсы. – 2022. – Т. 12, № 4. – С. 5–15. – DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2022.4.1>

Введение

В настоящее время существует значительное количество подходов, позволяющих прогнозировать развитие процессов в окружающей среде. Основной их целью является оценка и прогноз реально или потенциально существующей возможности негативного воздействия на окружающую среду, человека и экономические показатели [7; 11; 12; 13; 20; 29]. Необходимость такой оценки обусловлена тем, что негативные воздействия

могут вызвать изменение равновесия отдельных компонентов экосистемы или экосистемы в целом.

Необходимость разработки и обоснования оптимизационных решений по снижению техногенной нагрузки на атмосферный воздух в условиях реструктуризации промышленности городов, регионов, промышленных зон для минимизации негативного влияния на окружающую среду и обуславливает актуальность исследований по оценке загрязненности атмосферного воздуха в г. Ханой (Со-

циалистическая Республика Вьетнам). Одним из путей решения этой проблемы является разработка математической модели техногенной нагрузки, использование которой позволит оптимизировать техногенное влияние в регионе за счет введения ограничений выбросов для объектов промышленной инфраструктуры.

Материалы, методы и их обсуждение

Альтернативным и конструктивным путем достижения сбалансированного взаимодействия общества и природы является разработка моделей стабильности экологической ситуации. Однако, механизмы, которые обеспечивают стабильность экосистем, а значит, и устойчивое развитие территориальных общественных систем, до конца еще не разработаны. Существующие решения по обоснованию количественных оценок техногенного воздействия носят обычно узкоспециализированный характер [4] и зависят от того, что именно подразумевается под определением понятия «техногенная нагрузка» [33]. Поэтому при оценке техногенной нагрузки возникают разногласия по определению количественных характеристик техногенной нагрузки и на нормативном уровне. В работах российских ученых В.С. Вишаренко [9], Р.С. Гильденскиольда, И.Л. Винокура, О.В. Бобылева и др. [23] проведены исследования по выявлению зависимостей между состоянием окружающей среды и биологическим возрастом человека. Работы Н.А. Васильева [6], Ю.П. Гичева [10] посвящены анализу заболеваемости населения, находящегося рядом с техногенноопасными объектами. В ряде работ в качестве экспозиционных показателей возникновения неблагоприятных эффектов для здоровья населения в результате загрязнения окружающей среды используются показатели детской заболеваемости и смертности [23]. Кроме того, отдельным направлением в системе оценки техногенного действия является изучение качества урбоэкосистемы [31; 32]. При этом пороговой мерой техногенной нагрузки является мера деградации экосистемы, подвергшейся действию в той или иной степени. В качестве реципиентов в данном случае чаще всего выступают растения или животные.

В прогнозируемые показатели конечного потребления необходимо включать экологическую чистоту окружающей среды и комплексность использования природного сырья. Основой оценки качества окружающей среды по содержанию химических загрязнений служат ПДК – предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе населенных мест, рабочей зоны, в воде водоемов и рек, в почве и в продуктах питания. При этом продолжительность действия нормирования факторов рабочей зоны составляет период трудовой деятельности, а для населенных мест – продолжительность жизни человека [21].

Различие нормативных показателей в разных странах почти на порядок и больше свидетельствует об определенной субъективности в установлении нормативов. На современном этапе, вероятно, целесообразно при оценке техногенной нагрузки и, как следствие, возникающих экологических рисков и рисков для здоровья, обусловленных действием загрязняющих веществ, ориентироваться на систему приемлемости, рекомендованную Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ). Принцип приемлемого риска приобрел известность как принцип ALARA (as low as reasonably achievable, то есть «столь низко, насколько это достижимо в пределах разумного»).

Все известные оценки техногенной нагрузки по своему содержанию являются в различной степени аппроксимациями. Этот факт в решающей степени определяет основные свойства количественной оценки взаимодействия экосистемы с ксенобиотиками. Определение эффекта имеет два понятия, первое наиболее общее определение, его токсический эффект, другое – его биологический эффект – это конечное проявление взаимодействия организма с веществом [24]. Таким образом, при оценке эффектов на уровнях действия ниже смертельных количественная оценка становится относительно самостоятельным, промежуточным этапом исследования. Качественная оценка, важное место в которой занимает концепция критериев вредности, предшествует количественной и использует ее результаты на завершающем этапе. Необходимо учитывать, что оценка химического действия проводится из-за реакций живого организма, которые зависят как от его

состояния, так и от состояния окружающей среды и т. д., то есть они детерминированы.

Среди данной группы методик оценки техногенной перегрузки следует отметить инженерный способ, который основан на применении теории надежности и предполагает выявление возможных путей возникновения отказов на объектах повышенной опасности с расчетом вероятности их возникновения. Широко применяется также прием, называемый «деревом событий» [18]. Безусловное преимущество инженерного метода заключается в том, что его результатом является не только величина техногенной нагрузки, но и список наиболее «слабых» мест технической системы, что позволяет эффективно планировать мероприятия по управлению экологической безопасностью.

Одним из перспективных методов оценки техногенных действий на окружающую среду является модельный метод, в котором используются математические функции, моделирующие процессы, события и явления, приводящие к чрезвычайным ситуациям [15]. При этом используются следующие типы моделей процессов: детерминированные, вероятностные, смешанные (детерминированно-вероятностные) и имитационные [19].

Детерминированные модели дают фиксированный прогноз процессов без учета случайных колебаний, вероятностный – прогноз о том, что некоторое событие произойдет в определенный отрезок времени или с определенной вероятностью [17]. Имитационные модели основываются на использовании различной дополнительной информации о реальном объекте исследования, получаемой в результате изучения объекта лабораторными или другими нематематическими методами, и его не удастся представить точными математическими выражениями [5].

Наиболее эффективным инструментом в оценке экологических рисков являются математические модели, описываемые системами дифференциальных, интегральных, интегрально-дифференциальных с соответствующими предельными и начальными условиями [25]. Вероятностные модели наиболее полно описывают случайные процессы, приводящие к аварийным ситуациям [15].

Одним из часто используемых классов математических моделей являются линейные

стационарные балансовые модели [16]. Используя этот класс моделей, ученые на примере некоторых пестицидов доказали, что нарушения в экосистеме могут возникнуть не в результате загрязнения этой геохимической среды, в которую они непосредственно поступили, а в результате вторичного загрязнения других сред [8].

Большой интерес представляют модели, с помощью которых определяются экономические критерии планирования, охраны и восстановления окружающей среды [28]. Так, для определения потерь продуктов биосферы при загрязнении окружающей среды промышленными выбросами используются интегральные региональные оценки стоимости потерь от загрязнения. Математические модели, изложенные в монографии Ф.С. Робертса [24], позволяют решить ряд вопросов по моделированию процессов биологического и экологического характера.

Вышеизложенный обзор общих методологических подходов оценки состояния безопасности окружающей среды и человека, основанных на оценке уровня техногенного действия, позволяет установить уровень восприимчивости населения и окружающей среды к неблагоприятному воздействию со стороны источников угрозы. Однако, унифицированный подход математического моделирования техногенного воздействия на окружающую среду и оценки влияния промышленных объектов на региональную экологическую безопасность в настоящее время не разработан.

Известные математические модели количественной оценки вероятности проявления неблагоприятного события обычно основываются на сценарии угрозы. В качестве математического аппарата моделирования сценария для получения количественной оценки используются: методы теории вероятности и математической статистики; аналитические детерминистические методы; имитационные методы.

Наиболее распространенная вероятностная оценка проявления последствий техногенного действия основывается на предположении, что факторы угрозы являются случайными величинами и принятием законов их распределения. Закон распределения принимается априори, одним из соответствующих апробированных в экологии распределений, следуя классическим

определениям теории вероятности, или исходит из статистического ряда событий.

В моделях, построенных на основе известных в теории вероятности распределений, используются: нормальный закон распределения (закон Гаусса), экспоненциальный, Вейбулла-Гниденко, логистический [14].

В работе О.М. Барановой применяется модель оценки величины потенциала загрязнения атмосферы для городских условий [3]. При этом в ранее утвержденных методических материалах [22] предложена упрощенная методика, основанная на возможности представления плотности вероятности концентрации примеси с использованием логарифмически нормального распределения. В результате проведенных исследований была обнаружена связь между искомым значением потенциала загрязнения атмосферы и такими вероятностными метеорологическими характеристиками как вероятность инверсий, вероятность слабого ветра и вероятность тумана. Результаты расчетов оперативно используются при прогнозе погоды, однако есть ряд трудностей, связанных с получением сведений о вертикальном распределении температуры, необходимое для установления вероятности инверсий в приземном слое [25].

В практических инженерных расчетах за рубежом в настоящее время чаще всего используются локальные модели Гаусса, в которых мгновенные значения концентрации загрязнений, выбрасываемых в атмосферу непрерывным точечным источником, исходят из распределения в пространстве и времени (модель Пасквилла – Бриггса, модель Пасквилла – Гиффорда) [2; 30]. Эти модели достаточно распространены и положены в основу моделей оценки качества атмосферного воздуха, которые используются в США, многих европейских странах и являются рекомендованными EPA US [34]. Таким образом, к общим недостаткам рассматриваемых гауссовских моделей является слабое использование физических оснований и большой вклад эмпирических зависимостей, полученных в локальных условиях проведения эксперимента. Кроме того, возможности этих моделей для описания распространения примесей в турбулентном пограничном слое особенно ограничиваются при наличии сложных форм рельефа.

Причина этого кроется в сложном характере орографических процессов, вызывающих турбулентные вихри.

Для оценки порога техногенной нагрузки также широко применяются модели метода статистических испытаний Монте-Карло, считающегося мощным и эффективным средством теории вероятности. При реализации этого способа оценки риска вместо того, чтобы описывать случайные базовые переменные аналитическими зависимостями, выполняется определенная числовая процедура, дающая случайный результат, случайную реализацию в рамках возможных значений базовых переменных. Получение одного экземпляра, одной реализации по методу Монте-Карло называют «розыгрышем» переменной. В Европе и США часто используется метод Монте-Карло для оценки экологических рисков. Таким образом, процедура статистических испытаний методом Монте-Карло сводится к численному определению интеграла вероятности безопасного функционирования системы. Следует отметить, что вероятностные модели в настоящее время являются наиболее распространенными. Математический аппарат моделей достаточно хорошо развит и с успехом применяется уже не одно десятилетие. При наличии информации о чрезвычайных ситуациях, которые произошли на исследуемом объекте в прошлом или на аналогичных объектах, работающих примерно в одинаковых условиях, применяются статистические методы оценки риска [1]. В этом случае применяется аппарат математической статистики, позволяющий снизить неопределенность прогноза чрезвычайных ситуаций, который основывается на существующих статистических данных за определенный период наблюдения с учетом тенденций изменения их количества и установленных законов распределения. На практике не все статистические данные могут быть использованы, а их результаты – давать точную оценку величины техногенной нагрузки. Это связано с тем, что параметры, характеризующие чрезвычайные ситуации, должны быть независимы между собой (коэффициент корреляции по модулю не должен превышать 0,4). Поэтому при проведении расчетов по одному параметру будет получена нижняя оценка вероятности чрезвычайных ситуаций.

чайных ситуаций. Существует четыре основных источника неопределенности: статистическая неопределенность; неопределенность в моделях действия или моделях «доза – эффект»; неопределенность в исходных данных для модельного расчета; неопределенность, вызванная погрешностями использованных моделей [26; 27].

Используемые варианты статистических схем позволяют прогнозировать значение интегрального показателя загрязнения воздуха в регионе. Статистический метод в настоящее время является общепринятым для оценки экологических рисков поражения человека. К недостаткам статистических методов можно отнести высокие значения погрешностей при долгосрочных прогнозах вследствие значительных отклонений внутри выборки данных для прогноза. Для уточнения исходных данных и повышения репрезентативности результатов статистических моделей вводят граничные условия, которые специфичны для каждой конкретной задачи прогноза распространения примеси в атмосферном воздухе. Также одним из основных недостатков статистического метода оценки риска является то, что полученные с его помощью оценки всегда устарели, поскольку базируются на данных за предыдущие годы. Для того чтобы сделать результаты более реальными и пригодными для прогнозирования, необходимо дополнительно учитывать тенденции, существующие в изучаемой области, получить оценку риска в функции времени.

Для описания порога допустимого техногенного нагрузки применяются детерминированные модели, описывающие процесс нарастания угрозы для окружающей среды системой дифференциальных или интегральных уравнений с начальными условиями. Это наиболее точные модели, но описывающие системы, состояние которых полностью определяется в заданные моменты времени в прошлом и в будущем.

Для обеспечения достоверности оценки техногенной нагрузки на экосистему необходимо учитывать данные, наиболее полно отражающие состояние урбанизированной территории в определенный, конкретный промежуток времени. При этом существенное влияние на меру загрязнения окружающей среды, а, сле-

довательно, состояние экосистемы и показатели здоровья населения оказывают как количественные, так и качественные характеристики загрязняющих веществ. Эти характеристики поллютантов, а также их пространственно-временное распределение будет определяться, прежде всего, спецификой объектов промышленной инфраструктуры, источниками выбросов. Промышленная инфраструктура, как часть производственной системы, носит ярко выраженный региональный характер. Ее элементы привязаны к урбанизированной территории конкретного региона, города или промышленного центра, что и обуславливает необходимость оценки техногенной нагрузки с учетом вышеизложенных особенностей.

Заключение

В результате анализа существующих моделей, используемых для оценки техногенной нагрузки на экосистему, установлено, что разработанные модели адаптированы к конкретным ситуациям, и не дают в полной мере возможности оценки состояния экосистем, подвергающихся техногенным нагрузкам при изменении инфраструктуры производства региона. И, как следствие, прогнозирование состояния компонентов экосистемы не представляется возможным ни на стадии проектирования новых техногенных, ни на стадии оптимизации уже действующих объектов. В связи с этим актуальной научной задачей по оценке и моделированию экологической ситуации в урбоэкосистемах является разработка нового подхода к построению модели вероятностного распределения загрязняющих веществ и оценке текущего состояния загрязненности атмосферного воздуха урбанизированных территорий на основе данных многоспектральной космической съемки с целью получения более информативных показателей, повышения оперативности и достоверности информации о состоянии экологической среды в мегаполисе, что требует решения ряда вопросов, начиная с изучения процесса массопереноса в атмосферном воздухе и заканчивая рекомендациями по выбору характеристик источников выбросов вредных веществ и их рационального расположения в промышленной инфраструктуре региона.

Одним из самых распространенных методов, которые доказали свою эффективность для оценки состояния экосистем в целом и фитоценозов, в частности, является использование комплексных спутниковых снимков, которые позволяют на основании измененного спектрального образа эффективнее интерпретировать объекты земной поверхности, определяя их изменения. Развитие цифровых технологий, спутниковых навигационных систем и систем дистанционного сбора геоданных позволило повысить полноту и достоверность картографической информации, используемой в геоинформационных системах различного функционального назначения. Цифровые картографические данные, в частности, аэрофотоснимки для оценки загрязненности атмосферного воздуха территорий и экомониторинговых наблюдений состояния окружающей среды городских территорий возможно получать двумя способами, один из которых предполагает сканирование аналоговых фотоснимков, полученных в процессе аэрофотосъемки, а второй – использование цифровых съемочных систем (сенсоров) непосредственно в процессе съемки. Мониторинг рисков загрязненности атмосферного воздуха урбанизированных территорий Социалистической Республики Вьетнам с использованием аэрокосмических данных будет предусматривать получение, накопление и предварительную обработку видовой космической информации, получение и накопление наземной информации, содержащей экологические параметры, совместную обработку космической и наземной информации с применением ГИС-технологий и программных продуктов типа ERDAS Imagine, компьютерное моделирование в геосистемах для прогнозирования направления и интенсивности прохождения экологических процессов, а также принятие управленческих решений и разработку мероприятий по созданию оптимальных параметров состояния окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдуллин, А. Х. Модель сложной системы для оценивания риска аварий с экологическими последствиями / А. Х. Абдуллин, К. В. Балаба, В. Г. Крымский // *Материалы и технологии XXI века : материалы IV Междунар. науч.-техн. конф.* – Пенза, 2006. – С. 263–265.
2. Актуальные проблемы популяционного мониторинга и моделирование экосистем / В. Н. Большаков, О. Ф. Садыков, И. Е. Бененсон [и др.]. – Л., 1987. – Т. 10. – С. 47–63.
3. Баранова, М. Е. Методы расчетного мониторинга загрязнения атмосферы мегаполисов / М. Е. Баранова, А. С. Гаврилов // *Естественные и технические науки.* – 2008. – № 4. – С. 221–225.
4. Барышников, И. И. Здоровье человека – системообразующий фактор при разработке проблем экологии современных городов / И. И. Барышников, Ю. И. Мусийчук // *Медико-географические аспекты оценки уровня здоровья населения и состояния окружающей среды.* – СПб., 1992. – С. 1–36.
5. Белолипецкий, В. М. Математическое моделирование в задачах охраны окружающей среды / В. М. Белолипецкий, Ю. И. Шокин. – Новосибирск : ИНФОЛИО-пресс, 1997. – 240 с.
6. Васильев, Н. А. Экология и заболевания органов дыхания / Н. А. Васильев // *Российский медицинский журнал.* – 1997. – № 1. – С. 13–14.
7. Венецианский, А. С. Дистанционный мониторинг качества атмосферного воздуха города Волгограда / А. С. Венецианский, Е. А. Иванцова, М. П. Шуликина // *Природные системы и ресурсы.* – 2022. – № 2. – С. 21–28.
8. Видякин, А. И. Эндогенная и временная изменчивость числа смоляных каналов в хвое деревьев сосны обыкновенной / А. И. Видякин, А. Г. Лебедев // *Известия Самарского научного центра РАН.* – 2013. – Т. 15, № 3–1. – С. 371–375.
9. Вишаренко, В. С. Экологические проблемы городов и здоровье человека / В. С. Вишаренко, Н. А. Толоконцев. – Л. : Знание, 1982. – 32 с.
10. Гичев, Ю. П. Здоровье населения как индикатор экологического риска промышленных районов / Ю. П. Гичев // *Вестник РАМН.* – 1995. – № 10. – С. 52–55.
11. Голинько, И. И. Экологический мониторинг и биоиндикация для определения токсичности атмосферного воздуха / И. И. Голинько // *Актуальные проблемы химического и экологического образования : Всерос. науч.-практ. конф.* – СПб. : РГПУ им. А.И. Герцена, 2016. – С. 356–359.
12. Зализняк, Е. А. КРП государственного управления безопасностью в техносфере на примере охраны атмосферного воздуха / Е. А. Зализняк, Е. А. Иванцова, Е. Р. Зализняк // *Природные системы и ресурсы.* – 2018. – Т. 8, № 3. – С. 38–50.
13. Иванцова, Е. А. Экологические проблемы Социалистической Республики Вьетнам / Е. А. Иванцова, М. Т. Нгуен // *Антропогенная трансформация геопространства: природа, хозяйство, общество : материалы V Междунар. науч.-практ. конф.* – Волгоград : Изд-во ВолГУ, 2019. – С. 48–53.

14. Кислицын, Е. В. Имитационное моделирование экологической ситуации в мегаполисе / Е. В. Кислицын, В. В. Гоголин // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2021. – № 1 (37). – С. 92–106.

15. Костылева, Н. А. Теория численной оценки экологической опасности и классификации предприятий для ведения учета объектов и источников негативного воздействия на окружающую среду / Н. А. Костылева. – Пермь : Экология, 2004. – 88 с.

16. Крышев, И. И. Имитационные модели динамики экосистем в условиях антропогенного воздействия ТЭС и АЭС / И. И. Крышев, Т. Г. Сазыкина. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 184 с.

17. Многоспектральные методы дистанционного зондирования Земли в задачах природопользования / под ред. В. И. Куклы и Н. А. Попова. – М. : Наукова думка, 2006. – 360 с.

18. Музалевский, А. А. Техногенный и экологический риск в природно-технических системах / А. А. Музалевский. – СПб. : Изд-во РГТУ, 2019. – 144 с.

19. Назаров, А. С. Цифровые, аналоговые снимки местности и их измерение / А. С. Назаров. – Минск : Изд-во БГУ, 2004. – 13 с.

20. Нгуен, М. Т. Проблема загрязнения воздуха в г. Ханой (Социалистическая Республика Вьетнам) / М. Т. Нгуен, Е. А. Иванцова // Проблемы региональной экологии. – 2022. – № 4. – С. 94–98.

21. Петров, П. К. Математико-статистическая обработка и графическое представление результатов педагогических исследований с использованием информационных технологий / П. К. Петров. – Ижевск : Изд-во Удмурт. ун-та, 2013. – 179 с.

22. Пинигин, М. А. Гигиенические основы оценки степени загрязнения атмосферного воздуха / М. А. Пинигин // Гигиена и санитария. – 1993. – № 7. – С. 4.

23. Риск нарушения здоровья в условиях техногенного загрязнения среды обитания / Р. С. Гильденскиольд, И. Л. Винокур, О. В. Бобылева, Н. А. Гореленкова // Здравоохранение РФ. – 2003. – № 3. – С. 23–24.

24. Робертс, Ф. С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам / Ф. С. Робертс. – М. : Наука, 1986. – 497 с.

25. Рожков, Ю. Ф. Оценка нарушенности лесных экосистем после пожаров с использованием дешифрирования космических снимков / Ю. Ф. Рожков, М. Ю. Кондакова // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9. – С. 2018–2022.

26. Сергейчик, С. А. Устойчивость древесных растений в техногенной среде / С. А. Сергейчик. – Минск, 1994. – 385 с.

27. Сухорукова, И. В. Экономико-математическая модель оценки факторов экологического риска

/ И. В. Сухорукова, Н. А. Чистякова // Вестник Таджикского национального университета. Серия социально-экономических и общественных наук. – 2021. – № 1. – С. 30–38.

28. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat / Э. А. Курбанов, О. Н. Воробьев, А. В. Губаев [и др.] // Вестник ПГТУ. – 2014. – № 1 (21). – С. 18–32.

29. Экологическая оценка городских агломераций на основе индикаторов устойчивого развития / Е. А. Иванцова, М. В. Постнова, В. А. Сагалаев, А. А. Матвеева, А. В. Холоденко // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3, Экономика. Экология. – 2019. – Т. 21, № 2. – С. 143–156. – DOI: 10.15688/jvolsu3.2019.2.13

30. Francis Balfour Agurgo Remote Sensing & GIS for Land Degradation Assessment and Land Management in Ghana // Proceedings of Sub-Regional Workshop on Forestry Statistics, Nakuru, Kenya. – 2008. – P. 517–522.

31. Heat Inversion Worsens Air Pollution in Hanoi: Report 2019. – Electronic text data. – Mode of access: <https://vietnamnet.vn/en/heat-inversion-worsens-air-pollution-in-hanoi-report-565686.html>. – Title from screen.

32. International Cooperative Programmer on Assessment and Monitoring of Air Pollution on Forests in the ECE Region // Soil and Plant Expert Panel Draft Report / ed. by M. R. Starr. – 1990. – 66 p.

33. Jim, C. Y. Impacts of Intensive Urbanization on Trees in Hong Kong / C. Y. Jim // Environmental Conservation. – 1998. – Vol. 25, № 2. – P. 146–159.

34. The Existing Urban Environmental Sanitation System in Hanoi and Problems Related. – Electronic text data. – Mode of access: <http://wepa-db.net/pdf/0703forum/paper26.pdf>. – Title from screen.

REFERENCES

1. Abdullin A.Kh., Balaba K.V., Krymskij V.G. Model sloznoj sistemy dlya ocenivaniya riska avarij s ekologicheskimi posledstviyami [A Model of a Complex System for Assessing the Risk of Accidents with Environmental Consequences]. *Materialy i tekhnologii XXI veka: materialy IV Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Materials and Technologies of the XXI Century: Materials of the International Scientific and Technical conf.]. Penza, 2006, pp. 263–265.

2. Bolshakov V.N., Sadykov O.F., Beneson I.E., Korytin N.S., Krjzhiskij F.V. *Aktualnye problemy populjatsionnogo monitoring i modelirovanie ekosistem* [Actual Problems of Population Monitoring and Ecosystem Modeling]. Leningrad, 1987, vol. 10, pp. 47–63

3. Baranova M.E., Gavrilov A.S. Metody raschetnogo monitoring zagryazneniya atmosfery megapolisov [Methods of Computational Monitoring of Atmospheric Pollution of Megacities]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and Technical Sciences], 2018, no. 4, pp. 221-225.

4. Baryshnikov I.I., Musiychuk Yu.I. *Zdorovie cheloveka – sistemoobrazuyushij faktor pri razrabotke problem ekologii sovremennkh gorodov* [Human Health is a System-Forming Factor in the Development of Environmental Problems in Modern Cities]. *Mediko-geograficheskie aspekty otsenkiurovnja zdorovja naselenija i sostojanija okruzhajushej sregy*. Saint Petersburg, 1992, pp. 1-36.

5. Belolipetskij V.M., Shokin Yu.I. *Matematicheskoe modelirovanie v zadachakh okhrany okruzhajushchej sredy* [Mathematical Modeling in Environmental Protection Problems]. Novosibirsk, INFOLIO-press Publ., 1997. 240 p.

6. Vasiljev N.A. *Ekologija i zabolrvanija organov dyxhanija* [Ecology and Respiratory Diseases]. *Rossijskij meditsinskij zhurnal* [Russian Medical Journal], 1997, no. 1, pp. 13-14.

7. Venetsianskij A.S., Ivantsova E.A., Shulikina M.P. Distantionnij monitoring kachestva atmosfernogo vozdukh goroda Volgograda [Remote Monitoring of the Atmospheric Air Quality of the City of Volgograd]. *Prirodnue sistemu i resursy* [Natural Systems and Resources], 2022, no. 2, pp. 21-28.

8. Vidjakin A.I., Lebedev A.G. Endogennaja i vremennaja izmenchivost chisla smoljannykh kanalov v khvoe derevjev sosny obyknovennoj [Endogenous and Temporary Variability of the Number of Resin Channels in the Coniferous Trees of Scots Pine]. *Izvestija Samarskogo nauchnogo shchentra RAN* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2013, vol. 15, no. 3-1, pp. 371-375.

9. Visharenko V.S., Tolokontsev N.A. *Ekologicheskie problem gorodov I zdorovje cheloveka* [Environmental Problems of Cities and Human Health]. Leningrad: Znanije Publ., 1982. 32 p.

10. Gichev Yu.P. *Zdorovje naselenija kak indikator ekologicheskogo riska indyustrialnykh rajonov* [Public Health as an Indicator of Environmental Risk in Industrial Areas]. *Vestnik RAMN* [Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences], 1995, no. 10, pp. 52-55.

11. Golinko I.I. *Ekologicheskij monitoring i bioindikatsija dlja opredelenija toksichnosti atmosfernogo vozdukh* [Environmental Monitoring and Bioindication to Determine the Toxicity of Atmospheric Air]. *Aktualnyje problem khimicheskogo i ekologicheskogo obrazovanija: Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Actual Problems of Chemical and Environmental Education: All-Russian Scientific and

Practical Conference]. Saint Petersburg, RGPU im. Gertsena, 2016, pp. 356-359.

12. Zaliznyak E.A., Ivantsova E.A., Zaliznyak E.R. *KPI gosudarstvennogo upravlenija bezopasnostju v tehnosfere na primere okhrany atmosfernogo vozdukh* [KPI of State Safety Management in the Technosphere on the Example of Atmospheric Air Protection]. *Prirodnue sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2018, no. 3, pp. 38-50.

13. Ivantsova E.A., Nguen M.T. *Ekologicheskie problem Sotsialisticheskoy Respubliki Vjetnam* [Environmental Problems of the Socialist Republic of Vietnam]. *Antropogennaya transformacija geoprostranstva: priroda, khozjaistvo, obshchestvo: materialy vsrossuisknoi nauchno-prakticheskoi konferencii* [Anthropogenic Transformation of Geospatial Space: Nature, Economy, Society: Materials of the V International Scientific and Practical Conference]. Volgograd, VolGU Publ., 2019, pp. 48-53.

14. Kislitsin E.V., Gogulin V.V. *Imitatsionnoe modelirovanie ekologicheskoy situatsii v mrgapolise* [Simulation of the ecological situation in a megalopolis]. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* [Models, Systems, Networks in Economics, Technology, Nature and Society], 2021, no. 1 (37), pp. 92-106.

15. Kostyleva N.A. *Teorija chiskennosti otsenki ekologicheskoy opasnosti i klassifikatsii predpriyatij dlja vedenija ucheta objektov i istochnikov negativnogo vozdeystvija na okruzhayushchujuy sredu* [Theory of Numerical Assessment of Environmental Hazards and Classification of Enterprises for Accounting of Objects and Sources of Negative Impact on the Environment]. Perm, Ekologija Publ., 2004. 88 p.

16. Krushev I.I., Sazukina T.G. *Imitatsionnye modeli dinamiki ekosistem v uslovijakh antropogennogo vozdeystvija TES i AES* [Simulation Models of Ecosystem Dynamics in Conditions of Anthropogenic Impact of Thermal Power Plants and Nuclear Power Plants]. Moscow, Energoatomizdat, 1990. 184 p.

17. Kukla V.I., Popov N.A., eds. *Mnogospektralnue metodu distantsionnogo zondirovanija Zemli v zadachakh prirodopolzovanija* [Multispectral methods of remote sensing of the Earth in environmental management tasks]. Moscow, Naukova dumka Publ., 2006. 360 p.

18. Muzalevskij A.A. *Tekhnogennuj i ekologicheskij risk v prirogo-tekhnicheskikh sistemakh* [Technogenic and environmental risk in natural and technical systems]. Saint Petersburg, RGPU, 2019. 144 p.

19. Nazarov A.S. *Tsifrovue, analogovue snimki mestnosti i ikh izmerenie* [Digital, analog images of the terrain and their measurement]. Minsk, BGU, 2004. 13 p.

20. Nguen M.T., Ivantsova E.A. Problema zagrjaznenija vozdukh v g. Khanoj (Sochialisticheskaja Respublika Vjetnam) [The problem of air pollution in Hanoi (Socialist Republic of Vietnam)]. *Problemy regionalnoj ekologii* [Problems of regional ecology], 2022, no. 4, pp. 94-98.
21. Petrov P.K. *Matematiko-statisticheskaja obrabotka i graficheskoe predstavlenije rezultatov pedagogicheskikh issledovanij s ispolzovaniem informacionnykh tekhnologij* [Mathematical and statistical processing and graphical representation of the results of pedagogical research using information technology]. Izhevsk, Izd-vo Udmurd. un-ta, 2013. 179 p.
22. Pinigin M.A. Gigienicheskie osnovy otsenki stepeni zagrjaznenija atmosfernogo vozdukh [Hygienic bases for assessing the degree of atmospheric air pollution]. *Gigiena i sanitarija* [Hygiene and sanitation], 1993, no. 7, p. 4.
23. Gildenskiold R.S., Vinokur I.L., Bobileva O.V., Gorelenkova N.A. Risk narushenija zdorovja v uslovijakh tekhnogenogo zagrjaznenija sredi obitanija [The risk of health disorders in conditions of man-made pollution of the environment]. *Zdravookhraneniye RF* [Healthcare of the Russian Federation], 2003, no. 3, pp. 23-24.
24. Roberts F.S. *Diskretnue matematicheskie modeli s prilozhenijami k sotsialnym, biologicheskim i ekologicheskim zadacham* [Discrete mathematical models with applications to social, biological and environmental problems]. Moscow, Nauka Publ., 1986. 497 p.
25. Rozhkov Yu.F., Kondakova M.Yu. Otsenka narushennosti lesnykh ekosistem posle pozharov s ispolzovaniem deshifrovaniya kosmicheskikh snimkov [Assessment of disturbance of forest ecosystems after fires using decoding satellite images]. *Fundamentalnue issledovanija* [Fundamental Research], 2014, no. 9, pp. 2018-2022.
26. Sergejchik S.A. *Ustojchivost drevesnykh rastenij v tekhnogennoj srede* [Stability of woody plants in a man-made environment]. Minsk, 1994. 385 p.
27. Sukhorukova I.V., Chistjakova N.A. Ekonomiko-matematicheskaja model otsenki faktorov ekologicheskogo riska [Economic and mathematical model of environmental risk factors assessment]. *Vestnik Tadzhičskogo natsionalnogo universiteta. Serija sotsialno-ekonomicheskikh i obshchestvennykh nauk* [Bulletin of the Tajik National University. Series of Socio-economic and Social Sciences], 2021, no. 1, pp. 30-38.
28. Kurbanov E.A., Vorobjev O.N., Gubaev A.V., Lezhnin S.A. et al. Cheture desjatiletija issledovanij lesov po snimkam Landsat [Four decades of forest research based on Landsat images]. *Vestnik PGTU* [Bulletin of PSTU], 2014, no. 1 (21), pp. 18-32.
29. Ivantsova E.A., Postnova M.V., V.A. Sagalajev, A.A. Matveeva, A.V. Kholodenko. Ekologicheskaja ozenka gorodskikh aglomeracij na osnove indikatorov ustojčevogo razvitiya [Environmental assessment of urban agglomerations based on sustainable development indicators]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija 3, Ekonomika. Ekologija* [Bulletin of the Volgograd State University. Series 3. Economics. Ecology], 2019, vol. 21, no. 2, pp. 143-156. DOI: 10.15688/jvolsu3.2019.2.13
30. Francis Balfour Agurgo Remote Sensing & GIS for Land Degradation Assessment and Land Management in Ghana. *Proceedings of Sub-Regional Workshop on Forestry Statistics, Nakuru, Kenya*, 2008, pp. 517-522.
31. Heat inversion worsens air pollution in Hanoi: report 2019. URL: <https://vietnamnet.vn/en/heat-inversion-worsens-air-pollution-in-hanoi-report-565686.html>
32. International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution on Forests in the ECE Region. Starr M.R., ed. *Soil and Plant Expert Panel Draft Report*, 1990. 66 p.
33. Jim C.Y. Impacts of Intensive Urbanization on Trees in Hong Kong. *Environmental Conservation*, 1998, vol. 25, no. 2, pp. 146-159.
34. The Existing Urban Environmental Sanitation System in Hanoi and Problems Related. URL: <http://wepa-db.net/pdf/0703forum/paper26.pdf>

Information About the Authors

Min T. Nguen, Graduate Student, Department of Ecology and Nature Management, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, saothang1086@gmail.com

Elena A. Ivantsova, Doctor of Sciences (Agricultural), Professor, Director of the Institute of Natural Sciences, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, ivantsova@volsu.ru

Информация об авторах

Мин Тъи Нгуен, аспирант кафедры экологии и природопользования, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, saothang1086@gmail.com

Елена Анатольевна Иванцова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор института естественных наук, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, ivantsova@volsu.ru