

РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Людмила Константиновна Трубина

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, профессор кафедры экологии и природопользования, тел. (383)361-08-86, e-mail: trubinalk@rambler.ru

Татьяна Александровна Хлебникова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (913)474-19-70, e-mail: t.a.hlebnikova@ssga.ru

Ольга Николаевна Николаева

Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства им. А. Н. Костякова, 127550, Россия, г. Москва, ул. Прянишникова, 19, доктор технических наук, профессор кафедры экологической безопасности и природопользования; Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, доцент, тел. (913)744-36-37, e-mail: onixx76@mail.ru

Развитие современных геоинформационных и компьютерных технологий значительно расширило перечень сведений, собираемых о состоянии окружающей среды, и в частности, городских территорий. Одновременно с этим внедрение технологий цифрового картографирования и трехмерного моделирования в практику научно-исследовательской деятельности заложило основу формирования нового инструментария для анализа и визуализации пространственной информации о состоянии окружающей среды городов. В статье изложен опыт исследования, картографирования и трехмерного картографического моделирования экологического состояния крупного промышленного центра на примере г. Новосибирска (Россия). Охарактеризованы фотограмметрические источники и технологии, использованные для сбора исходных сведений. Подтверждена оптимальность совместного использования плановой и перспективной съемки местности с применением беспилотных летательных аппаратов как наиболее перспективного средства сбора геопространственных сведений о техногенной городской среде. Представлена структура базы данных, сформированной в результате обработки съемочных материалов. Построена высокодетальная цифровая модель рельефа города и выполнен ее комплексный морфометрический анализ для изучения закономерностей переноса загрязняющих веществ по городской территории. Выполнена картографическая визуализация для установления влияния природных потоковых систем на формирование зон экологического риска в пределах городской территории, представлен фрагмент созданной трехмерной картографической модели. Сделан вывод о перспективности представления городского геопространства как единой трехмерной структуры, сочетающей природные и техногенные объекты и элементы, с позиций повышения детальности и достоверности результатов экологического мониторинга урбосистем и контроля качества окружающей среды городов.

Ключевые слова: экология городской среды, урбосистемы, беспилотные летательные аппараты, ГИС-технологии, трехмерное картографическое моделирование, природные потоковые системы, экологический мониторинг

IMPROVEMENT OF AN INFORMATION AND METHODOLOGICAL FRAMEWORK FOR URBAN ENVIRONMENTAL ASSESSMENT

Lyudmila K. Trubina

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Professor, Department of Ecology and Environmental Management, phone: (383)361-06-86, e-mail: trubinalk@rambler.ru

Tatyana A. Khlebnikova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (913)474-19-70, e-mail: t.a.hlebnikova@ssga.ru

Olga N. Nikolaeva

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Institute of Amelioration, water management and construction named after A. N. Kostyakov, 19, Pryanishnikova St., Moscow, 127550, Russia, D. Sc., Professor, Department of Environmental Safety and Natural Resources Management; Siberian State University of Geosystems and Technology, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, Russia, 630108, D. Sc., Professor, Department of Ecology and Environmental Management, e-mail: onixx76@mail.ru

The development of modern geoinformation and computer technologies has significantly expanded the list of collected data on environmental conditions, in particular, in urban areas. At the same time, the application of digital mapping and three-dimensional modeling techniques in research practice laid the foundation for the development of new tools for the analysis and visualization of spatial data on urban environmental conditions. This paper presents a case study involving mapping and three-dimensional cartographic modeling of environmental conditions in Novosibirsk, a large industrial center of Russia. The photogrammetric sources and technologies used to collect initial data are described. It has been confirmed that the joint use of vertical and oblique photography from unmanned aerial vehicles is the most promising optimal method for collecting geospatial data on the man-made urban environment. The structure of the database obtained by processing images has been presented. A highly detailed digital terrain model of the city has been developed, and its comprehensive morphometric analysis has been carried out to study the pollutant transport over the urban area. Cartographic visualization has been performed to establish the influence of natural flow systems on the formation of environmental risk zones in the urban area, and a fragment of the developed three-dimensional cartographic model is presented. It is concluded that the representation of urban geospace as a single three-dimensional structure composed of natural and man-made objects and features holds promise for improving the detail and reliability of the results of environmental monitoring of urban systems and urban environmental control.

Keywords: urban ecology, urban systems, unmanned aerial vehicle, GIS technology, three-dimensional cartographic modeling, natural flow systems, environmental monitoring

Введение

Информационное обеспечение различных процессов в обществе в последние годы существенно изменилось. Переход от бумажных носителей к цифровым технологиям привел к цифровизации многих основных сфер созидательной деятельности человека, и прежде всего, деятельности в области управления и принятия решений. Важным компонентом этой деятельности, затрагивающим

комфортность существования большого количества людей, является мониторинг и контроль экологического состояния городских территорий.

Процессы экологического мониторинга всегда подразумевали сбор и обработку больших массивов исходных данных. Поэтому в доцифровую эпоху, при ограниченных средствах реализации экологического мониторинга городских территорий, основное внимание уделялось оценке существующего уровня загрязнения природных компонентов окружающей среды.

Внедрение информационных технологий в практику повседневной научной и управленческой деятельности обеспечило новые методические подходы [1] и инструментарий [2–5] для формирования информационной основы мониторинга и анализа экологической обстановки городских территорий. Значительно расширился перечень наблюдаемых показателей, возросла роль автоматических наблюдений, упростился межведомственный информационный обмен. Методологический аппарат экологического мониторинга постоянно совершенствуется за счет применения материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), геоинформационных технологий (ГИС-технологий) и цифровых карт для анализа собранных данных и визуализации полученных результатов.

Однако неизбежно появились и новые методологические проблемы, одной из которых является разнородность форм представления исходных данных, используемых для анализа экологического состояния городской территории [6–8]. В настоящее время перечень источников исходных данных о состоянии окружающей среды не ограничивается статистическими массивами фактических данных. Он включает в себя широкий спектр материалов ДЗЗ, специальных картографических материалов, топографических баз данных и т. п.

Эффективная интеграция разнородных источников данных может быть реализована только средствами геоинформационных систем (ГИС), позволяющих создавать геопространственные базы данных и выполнять разноаспектное моделирование цифровых экологических данных, – в том числе построению, визуализацию и анализ трехмерных картографических моделей и 3D-видеосцен для изучения процессов распространения загрязняющих веществ по городской территории не на плоскости, а в геоинформационном пространстве, близко отображающем реальное геопространство. Это обеспечивает объективный анализ и учет особенностей организации пространства городской среды, влияющих на миграцию загрязняющих веществ, ветровую нагрузку, локализацию зон зашумленности и пр. Далее будет изложен опыт формирования информационно-методической базы для анализа экологической обстановки городских территорий с применением 3D-моделирования на примере г. Новосибирска.

Методы и материалы

Исследования основывались на разноаспектном подходе к рассмотрению состояния окружающей среды города. Отправной точкой явился анализ современных средств получения пространственно распределенных данных о состоянии исследуемой территории. Был обоснован минимально необходимый набор

исходных данных, который включал набор базовых пространственных объектов в соответствии с ГОСТ Р 53339-2009 «Данные пространственные базовые. Общие требования», пространственные данные об инженерных объектах и инфраструктуре на территории города, актуальные материалы аэрокосмической съемки и данные локального экологического мониторинга, характеризующие источники и поля загрязнения основных компонентов окружающей среды.

Значительная доля вышеперечисленных сведений была получена с помощью аэрофотосъемки (АФС). Обработка материалов ДЗЗ выполнялась на цифровых фотограмметрических системах [9–11]. При проведении экспериментальных работ использовались материалы плановой и перспективной АФС, полученные с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) вертолетного типа DJI Phantom 4. Обработка материалов съемки проводилась в отечественных программных продуктах Agisoft Professional Edition (версия 1.2.0, разработчик – Группа Компаний Геоскан и ГИС Панорама (разработчик АО КБ «Панорама»). Результаты фотограмметрической обработки материалов цифровой аэрофотосъемки были представлены в виде точечных цифровых моделей поверхности, которые и послужили источником для формирования пространственной базы данных на территорию съемки [12].

В финале экспериментальных работ на основе точечной цифровой модели были созданы цифровые картографические продукты на городскую территорию (цифровые модели рельефа (ЦМР), цифровые тематические карты, трехмерные картографические модели городских объектов). В совокупности они образовали единое геоинформационное пространство городской территории. При этом упор делался на трехмерное картографическое моделирование экологической ситуации. Так, комплексный анализ ЦМР на территорию г. Новосибирска и цифровых карт экологического зонирования города позволил получить существенно новые знания об особенностях миграции загрязняющих веществ по подстилающей поверхности, установить зоны транзита и аккумуляции, и внести коррективы в границы зон с различным уровнем экологического риска [13].

Результаты

Применение геопространственного подхода к анализу экологической обстановки городской территории позволило объективно учесть влияние рельефа на распространение загрязняющих веществ и формирование зон загрязнения. Структурный состав сформированной информационно-методической базы для анализа экологической обстановки городских территорий представлен на рис. 1 [11].

Как показали исследования [11, 12], наиболее перспективным средством сбора геопространственных сведений о техногенных объектах городской территории, является сочетание плановой и перспективной съемки местности с применением беспилотных летательных аппаратов. Плановая съемка успешно фиксирует пространственное положение зданий и сооружений, однако при этом в силу ракурса остается неучтенным значительный массив данных о вертикаль-

ной организации пространства, что недопустимо при изучении технически сложной городской среды. Перспективная съемка с применением БПЛА восполняет этот пробел, обеспечивая получение сведений о вертикальных и диагональных элементах инженерных конструкций различного назначения. Комплексный анализ данных плановой и перспективной съемок позволяет построить максимально подробную точечную цифровую модель объекта или сооружения (рис. 2) [14].

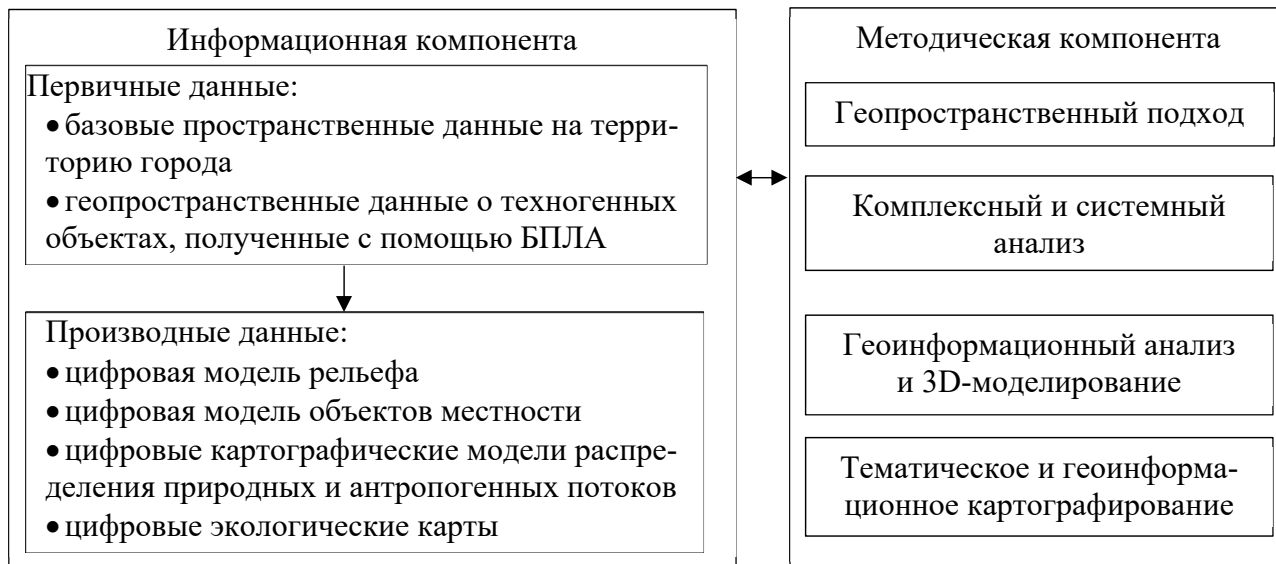


Рис. 1. Основные компоненты информационно- методической базы для анализа экологической обстановки городских территорий



Рис. 2. Точечная цифровая модель городского здания, полученная: а) по данным плановой съемки с применением БПЛА; б) в результате комплексной обработки данных плановой и перспективной съемки

Далее были выделены природные и антропогенные потоковые системы, способствующие миграции загрязнителей. Конечным продуктом исследований явились картографические 3D-модели экологического состояния городской тер-

ритории, которые отображают закономерности формирования полей загрязнения в трехмерном геопространстве. Это расширяет возможности анализа причин формирования неблагоприятной экологической ситуации на локальных участках местности. Поскольку экологическая и градостроительная информация обновляется ежегодно, то предлагаемая методика обеспечивает отслеживание и контроль не только пространственной, но и временной динамики развития экологической ситуации.

Обсуждение

Выполненные исследования позволили обосновать информационную основу и методическое обеспечение для анализа экологической обстановки на территории городов с учетом современной теории географических исследований и практики развития геоинформационных и компьютерных технологий. Результатом исследования явилось повышение достоверности представления о природных и антропогенных потоках переноса загрязняющих веществ по территории города. В ходе экспериментальных работ по анализу влияния промышленных предприятий правобережной части г. Новосибирска учет результатов 3D-моделирования природных потоковых систем выявил значительное влияние зон аккумуляции загрязнителей, приуроченных к руслам малых рек города, на общую напряженность экологической обстановки. В результате ранее установленные границы зон экологического риска были пересмотрены (рис. 3).

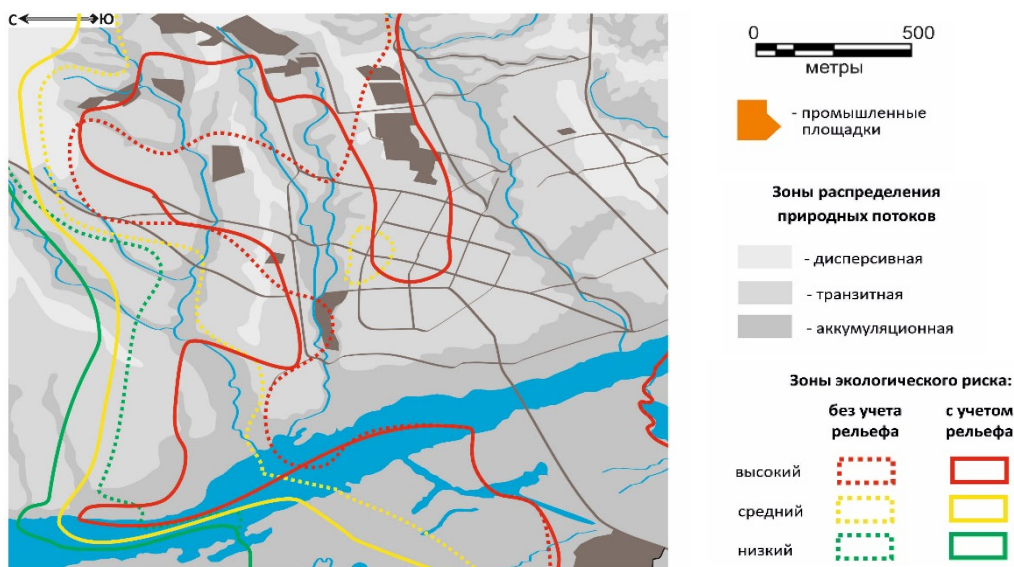


Рис. 3. Влияние природных потоковых систем на формирование зон экологического риска в пределах городской территории

Предложенный подход к формированию информационно-методической базы для анализа экологической обстановки городских территорий обеспечивает трехмерное моделирование городского геопространства как целостной системы

начиная с этапа сбора исходных данных. Это облегчает процессы установления закономерности распределения загрязняющих веществ по территории города. Следует заметить, что в исследованиях было учтено только влияние рельефа подстилающей поверхности, тогда как существуют и иные природные и техногенные факторы, изучение и учет которых требуют трехмерного моделирования геопространственных данных. Это ветровая динамика приземного слоя атмосферы, структура грунтов и горных пород территории, высотная планировка городской застройки и т. п. Установление их вклада в особенности формирования экологической обстановки городов является перспективным направлением исследований.

Заключение

Постоянное совершенствование технологий получения и обработки пространственно привязанных данных об окружающей среде создает все предпосылки для прироста объема собираемых сведений и их эффективного использования в управлении городским хозяйством, планировании развития городских территорий, охраны окружающей среды и обеспечения ее комфортности для населения. Однако методические подходы, сложившиеся в этой сфере, зачастую базируются на фиксации существующего уровня загрязнений и его анализа в традиционном для картографии ракурсе, учитывающем только распространение загрязнений в плане (на плоскости). В то же время урбосистемы современных городов представляют собой сложные многослойные пространственные образования, изучение которых проблематично без использования технологий компьютерного и картографического 3D-моделирования [15, 16].

Предложенный подход обеспечивает формирование информационно-методической базы для анализа экологической обстановки городских территорий, которая позволяет представить городское геопространство в виде единой трехмерной структуры, сочетающей в себе природные и техногенные объекты и элементы. Внедрение этого подхода в практику экологического мониторинга обеспечивает получение более детальной и достоверной информации об отрицательных процессах, протекающих в урбосистемах, а, следовательно, повысит эффективность планирования мероприятий по улучшению качества окружающей среды городов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Agterberg F. (2014) *Geomathematics: Theoretical Foundations, Applications and Future Developments*. Springer International Publishing.
2. Baxter E. Vieux (2016) *Distributed Hydrologic Modeling Using GIS*. Springer Science+Business Media Dordrecht.
3. Salamatnia, A., Jozi, S.A., Malmasi, S. et al. (2019) Assessment of the Temporal and Spatial Variations of Urban Development Using RS and GIS: A Case Study—Yasuj, Iran. *Journal of Indian Society of Remote Sensing* 47, 1163–1172.
4. Chen, G. (2019) GIS method and its application for harmonious evaluation of urban construction land and geological environment. *Arab Journal of Geoscience* 12, 600.

5. Sun, X., Xu, J. & Wang, Z. (2020) Augmented planning support system framework for mountainous urban master planning. *Journal of Mountain Science* 17, 973–991.
6. Трубина Л.К., Хлебникова Т.А., Николаева О.Н., Кулик Е.Н. Интеграция геопроостранственных данных на основе трехмерного моделирования для экологической оценки городских территорий // *Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка»*. – 2013. - № 4/с. – С. 83-86.
7. Трубина Л.К., Лисицкий Д.В., Панов Д.В. Пространственная дифференциация городских земель на основе геоинформационного анализа рельефа // *Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка»*. – 2013. - № 4/с. – С. 149-152.
8. Трубина Л.К., Хлебникова Т. А., Николаева О. Н. Методические подходы к созданию 3D-моделей для исследования экологического состояния территорий // *География и природные ресурсы*. - 2017. - № 2. – С. 199-205.
9. Хлебникова Т. А. Анализ методов создания трехмерных моделей объектов в ЦФС и ГИС // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2015. - Т. 1, № 2. – С. 157-162.
10. Хлебникова Т. А., Оприцова О. А., Аубакирова С. М. Экспериментальные исследования точности построения фотограмметрической модели по материалам БПЛА // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2018. - Т. 1, №. 4. - С. 32-37.
11. Хлебникова Т.А., Ямбаев Х. К., Оприцова О. А. Разработка технологической схемы сбора и обработки данных аэрофотосъемки с использованием беспилотных авиационных систем для моделирования геопространства // *Вестник СГУГиТ*. – 2020. - Т. 25, № 1. - С. 106-118.
12. Хлебникова Т. А., Оприцова О. А. Экспериментальные исследования современных программных продуктов для моделирования геопространства по материалам БПЛА // *Интерэкспо Гео-Сибирь* – 2017. - Т. 4, №. 1. - С. 3-6.
13. Трубина Л. К., Николаева О. Н. Об опыте комплексного картографирования экологической обстановки урбанизированных территорий с учетом пространственного распространения загрязняющих веществ // *Геодезия и картография*. - 2020 - Т. 81, № 6. – С. 20-28.
14. Оприцова О. А. Исследование возможностей применения беспилотных авиационных систем для моделирования объектов недвижимости // *Вестник СГУГиТ*, - 2018. – Т. 23, № 3. – С. 248-258.
15. Трубина Л. К. Методологические аспекты экологической оценки состояния урбанизированных территорий // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2012. - Т. 2, №. 3. - С. 203-206.
16. Трубина Л. К., Аврунев Е. И., Николаева О. Н., Каленицкий А. И., Антипов И. Т. Подходы к созданию геоинформационных моделей городских территорий для учета экологической составляющей при ведении единого государственного реестра недвижимости // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2018. - Т. 329, №. 9. – С. 43-51.

© Л. К. Трубина, Т. А. Хлебникова, О. Н. Николаева, 2021