

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

УДК 528.946

DOI: 10.30533/0536-101X-2019-63-3-312-323

Концепция и технология мониторинга земель застраиваемых территорий по материалам космической съемки

© 2019 г. В.В. Беленко

*Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия
belenko.v.v@yandex.ru*

Concept and technology of land monitoring in non built-up areas based on satellite images

V.V. Belenko

*Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
belenko.v.v@yandex.ru*

Received February 5, 2019

Revised May 31, 2019

Accepted June 6, 2019

Keywords: built on areas, mapping, monitoring, satellite images, thematic map, urban planning.

Summary. The results of a research of the author in the field of developing the concept and technology of land monitoring of non built-up areas using space images are presented. Researches of other authors on the subject matter are analyzed. An analytical review of the scientific works of various researchers showed a number of unsolved problems in the area of the study. One of the main problems which is still not solved is the lack of a single technological solution aimed at monitoring the lands of sparsely constructed territories using space imagery materials. Scientific and methodological insecurity is observed in the field of cartographic monitoring of land monitoring in non built-up areas. A task is to develop a concept and technology for monitoring the lands of built on areas based on satellite imagery. The main provisions of the monitoring concept for lands of non non built-up areas are presented and justified. All the blocks of technology for monitoring the lands of non built-up territories, their structural organization and internal content are described in detail.

Citation: *Belenko V.V.* Concept and technology of land monitoring in non built-up areas based on satellite images. *Izvestiya vuzov «Geodeziya i aerofotosyemka»*. *Izvestia vusov «Geodesy and Aerophotosurveying»*. 2019, 63 (3): 312–323. [In Russian]. DOI: 10.30533/0536-101X-2019-63-3-312-323.

Поступила 5 февраля 2019 г.

После доработки 31 мая 2019 г.

Принята к печати 6 июня 2019 г.

Ключевые слова: градостроительство, застраиваемые территории, картографирование, космические снимки, мониторинг, тематическая карта.

Рассматриваются авторские разработки научно-методического обеспечения мониторинга земель застраиваемых территорий для информационного сопровождения территориального планирования малоосвоенных территорий с точки зрения размещения на ней объектов капитального строительства. Обосновываются теоретические положения концепции мониторинга земель застраиваемых территорий, а также приводится ее принципиальная технологическая схема организации мониторинга.

Для цитирования: *Беленко В.В.* Концепция и технология мониторинга земель застраиваемых территорий по материалам космической съемки // *Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка»*. 2019. Т. 63. № 3. С. 312–323. DOI: 10.30533/0536-101X-2019-63-3-312-323.

Постановка проблемы и актуальность работы

В настоящее время наблюдается тенденция к росту численности городского населения по отношению к сельскому. По данным доклада ООН [1], доля городского населения с 3,2 млрд человек в 2005 г. вырастет к 2030 г. до 4,9 млрд человек, а доля сельского населения к этому же времени сократится с 3,31 до 3,29 млрд человек. Соответственно будет расти и отрицательная нагрузка на окружающую природную среду и ее компоненты. Развитие городов сопровождается строительством новых жилых кварталов, дорог, объектов социального значения, промышленного обеспечения, здравоохранения и т.д. Строительство объектов жизнеобеспечения сопровождается большим объемом земляных работ, приводящих к разработке большого объема грунта и его перемещению. Это приводит к тому, что все больше природных экосистем при усиленном и многоэтажном капитальном строительстве разрушаются, вызывая нарушение экологического равновесия. Последнее приводит к тому, что природные экосистемы не могут выполнять свои экологические функции (почво-, влаго- и лесозащитные, осадкообразование, регуляция температуры и др.).

В настоящее время можно наблюдать, как различные строительные организации при градостроительном освоении малозастроенных территорий или небольших земельных участков допускают серьезные просчеты в территориальном планировании. В результате размещение объектов капитального строительства часто происходит без учета текущей хозяйственной освоенности территории и экологических условий природной среды. Под хозяйственной освоенностью понимается степень изменения компонентов природной среды в результате возведения объектов капитального строительства, а под экологическими условиями — текущее состояние объектов природно-экологического каркаса, являющегося главным связующим элементом с объектами капитального строительства.

Неучет особенностей пространственной организации объектов природно-экологического каркаса и его экологической роли для застраиваемой территории, а также хозяйственной освоенности приводит к тому, что все больше земель используется не по назначению. Часто на землях сельскохозяйственного значения возводят многоэтажные жилые комплексы с соответствующей инфраструктурой. Использование наиболее плодородных земель под капитальное строительство недопустимо и нерационально. Часто это происходит из-за того, что на различных этапах проектирования не хватает актуальной информации о пространственной хозяйственной освоенности и структуре природно-экологического каркаса застраиваемых земель. Источники сведений об изучаемой территории — наземные инструментальные измерения, направленные на исследования состояния компонентов природной среды. К ним можно отнести различные полевые описания и характеристики хозяйственного освоения. Кроме того, важный источник сведений — статистические и фондовые данные, а также ранее изданный картографический материал.

Особую важность при изучении состояния земель застраиваемых территорий приобретает использование материалов космической съемки. Это объясняется тем, что космические изображения могут охватывать достаточно большие территории, которые планируют к застройке. Кроме того, многозональные космические изображения позволяют получать необходимую информацию о застраиваемых территориях, выражающуюся в том, что в различных зонах электромагнитного спектра можно изучить состояние того или иного объекта. Материалы космической съемки, а также аэро-съемки и съемки с беспилотных летательных аппаратов позволяют получать оперативные данные об изменениях хозяйственной освоенности застраиваемых территорий, что, свою очередь, даст возможность получать сведения о характере развития той или иной территории. В результате появится возможность учитывать

сложившийся тип развития территории при разработке генерального плана развития, схем территориального планирования, что в конечном счете позволит избежать ошибок в градостроительном проектировании.

В настоящее время наблюдается недостаточная разработанность научно-методического обеспечения использования материалов космической съемки при мониторинге застраиваемых территорий, которая выражается в отсутствии концепции и технологии использования космических изображений для решения научно-прикладных задач. В связи с этим поставленная цель по разработке концепции и технологии мониторинга земель застраиваемых территорий с применением материалов космической съемки своевременна и необходима. Она призвана обеспечить решение важной народнохозяйственной задачи рационального использования земельных и природных ресурсов при освоении малоэтажных территорий для обеспечения устойчивого развития региона.

Аналитический обзор ключевых работ

Вопросами исследования *структуры и динамики застройки* занимались многие ведущие ученые: В.И. Кравцова [2] — выявление динамики застройки; М.Н. Конфектов [3] — дешифрирование типов застройки; В.В. Зеленков [4] — тематическое дешифрирование космических снимков застраиваемых территорий; В.С. Марчуков [5] — автоматизированное выявление изменений на застроенных территориях; Е.А. Балдина и В.Ю. Дедова [6] — выявление антропогенных изменений по тепловым космическим снимкам; Н.Е. Чуфарова [7] — фрактальный анализ районов городской застройки на снимках в тепловом ИК-диапазоне; G. Sohn, I. Dowman [8] — автоматизированное дешифрирование застроенных территорий по космическим снимкам и данным лазерной съемки и др. В научной литературе нет полной и содержательной классификации типов застройки для решения задач по дешифрированию космических изображений.

Вопросами изучения структуры *хозяйственного землепользования и его состояния* по космическим снимкам занимались такие ученые, как И.А. Миртова и Ю.Е. Пацына [9], И.Г. Абдурахманова [10], X. Li, X. Liu и L. Yu [11], H. Erol и F. Akdeniz [12], D.P. Roy [13], Y. Zha [14] и др. Главная особенность анализа ключевых работ состоит в том, что научно-методические разработки преимущественно направлены на изучение городских территорий, которые, по сути, представляют собой застроенные территории. В то время как градостроительное зонирование застраиваемых территорий освещено слабо и требует более детальных научных исследований.

Вопросами изучения *структуры и динамики изменений естественных экосистем и оценки их нарушенности* занимались и зарубежные, и отечественные ученые. Так, Е.Б. Мельникова посвятила свои изыскания аэрокосмическому мониторингу нарушенности открытых земель [15]; И.А. Миртова — аэрокосмическому топографическому мониторингу нарушений городских земель [16]. Интересна работа ученых Дм.В. Учаева, Д.В. Учаева и Л.Н. Чабан, посвященная выделению границ экосистем путем мультифрактальной сегментации спутниковых изображений высокого разрешения [17]. В ней авторы показывают новый подход на основе мультифрактальной сегментации космических снимков, который позволяет повысить точность обнаружения границ лесов с разным типом растительности. Приведем и других авторов, которые занимались *проблемами изучения структуры и динамики изменений нарушенности экосистем*: И.Г. Абдурахманова [10]; Чинь ле Хунг [18]; Н.Н. Хренова [19]; В.А. Малинников и Нгуен Ван Нам [20]. Среди зарубежных работ отметим J.S. Rawat, Manish Kumar [21], группу ученых из Китайской Народной Республики под руководством Xia Jing [22], а также Majid Farooq [23] и Arshad Amin [24].

Проведя анализ работ разных авторов, можно сделать вывод следующего характера. В большинстве исследований в качестве ис-

ходных данных дистанционного зондирования применяют снимки среднего разрешения со спутника Landsat, что показывает актуальность этих данных. Работы отечественных и зарубежных ученых посвящены изучению динамики площади лесных экосистем, а в некоторых случаях — изучению продуктивности экосистем. Отметим, что используемые методики обработки космических изображений узкоспециализированные и решают какую-то одну задачу. Динамика изменений естественных экосистем оценивается по недостаточному числу параметров. Кроме того, нет единой технологии изучения структуры и динамики изменений объектов природно-экологического каркаса для задач градостроительного планирования застраиваемых территорий. Аналитический обзор ключевых научных исследований позволил выявить нерешенные проблемы и поставить цель научных изысканий.

Методика и результаты исследования

Цели и задачи концепции мониторинга земель застраиваемых территорий по материалам космической съемки. Мониторинг земель застраиваемых территорий осуществляется в следующих целях:

предотвращение нерационального использования земель при территориальном планировании капитального строительства;

сохранение и вовлечение объектов природно-экологического каркаса в структуру жилых районов как основного элемента экологического равновесия;

обеспечение государственных органов власти, научно-исследовательских и проектных институтов градостроительства информацией об освоенности территории и особенностях структуры природно-экологического каркаса.

Мониторинг земель застраиваемых территорий включает в себя:

наблюдения за структурой и динамикой изменений различных типов застройки;

наблюдения за изменением состояния растительности на пашне, залежах, сенокосных и

пастбищных угодьях, древесной растительности;

своевременное выявление сельскохозяйственных земель и их изменений;

выявление структуры природно-экологического каркаса в целях рационального использования природных ресурсов;

мониторинг объектов природно-экологического каркаса с целью выявления изменений их состояния;

обеспечения доступа юридических и физических лиц к информации о результатах мониторинга;

выявление структуры современного функционального зонирования территории.

Кроме того, применение на практике предлагаемой концепции позволит решить целый ряд следующих практических задач:

разработка проектов документов территориального планирования городов, поселков, районов, территорий сельских поселений, малозастроенных территорий (схемы территориального планирования, генеральные планы);

разработка планируемого освоения мало-застроенных территорий с целью обеспечения устойчивого развития региона;

решение вопросов, связанных с рациональным использованием природных ресурсов с целью обеспечения экологического равновесия при ведении градостроительной деятельности на застраиваемых территориях;

планировка и развитие транспортной и инженерной инфраструктуры;

сохранение объектов историко-культурного наследия, земель лесного фонда и сельскохозяйственного назначения.

В основе предлагаемой концепции лежит центральное понятие *застраиваемая территория* — территория со слабоизмененными компонентами природной среды в результате строительной деятельности человека с размещением на ней небольшого количества зданий, сооружений и инженерных коммуникаций.

Концепция мониторинга земель застраиваемых территорий опирается на следующие методы исследований: картографический метод

исследования, методы цифровой обработки космических изображений, методы математической статистики, язык программирования MATLAB, методы геоинформационного анализа.

Мониторинг земель застраиваемых территорий осуществляется на уровне городских и сельских поселений (1:25 000 – 1:50 000), а также на уровне муниципальных районов и городских округов (1:100 000 – 1:200 000).

Для обеспечения проведения мониторинга земель застраиваемых территорий формируется картографическая база данных, которая призвана обеспечить хранение, обработку и составление оригинального картографического материала на основе результатов мониторинга. Картографическое обеспечение включает в себя перечень составляемых карт и их содержание, методику формирования и функционирования картографической базы данных [25].

Мониторинг земель застраиваемых территорий представляет собой технологию, состоящую из комплекса методик, направленных на изучение структуры хозяйственной освоенности и природно-экологического каркаса, а также их периодических изменений. Основным источником для мониторинга — материалы космической съемки, в том числе с беспилотных летательных аппаратов и самолетной съемки. Основные задачи мониторинга земель застраиваемых территорий — информационное сопровождение градостроительного проектирования малоэтажных территорий и их территориальное планирование, разработка градостроительной документации при проведении инженерно-экологических изысканий.

При мониторинге земель застраиваемых территорий по материалам космической съемки необходимо руководствоваться рядом определенных требований к выбору показателей состояния земель, чтобы не ставить под сомнение эффективность мониторинга:

1) все подобранные показатели должны достоверно определяться материалами многозональной космической съемки, включая материалы аэросъемки и съемки с беспилотных летательных аппаратов;

2) показатели изменения градостроительного освоения и объектов природно-экологического каркаса поддаются дешифрированию на космических изображениях;

3) показатели изменения градостроительного освоения и объектов природно-экологического каркаса должны выражаться общей количественной мерой, которая позволяет выполнить анализ произошедших изменений в структуре и состоянии земель застраиваемых территорий.

Принципиальная технологическая схема организации мониторинга земель застраиваемых территорий включает в себя шесть блоков, функционально связанных друг с другом: исходных данных мониторинга; подготовки данных мониторинга; исследования градостроительной освоенности территории; картографического обеспечения; геоинформационного обеспечения (рис. 1).

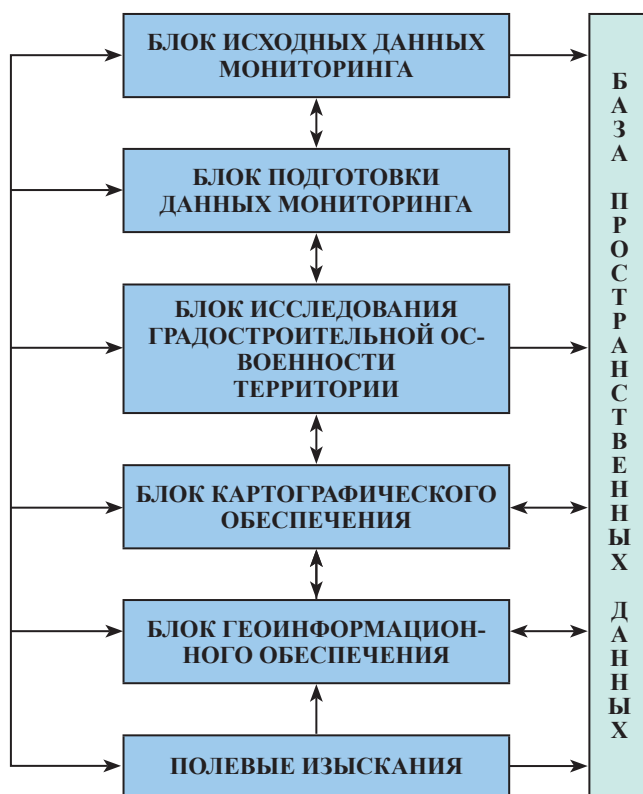


Рис. 1. Технологическая схема организации мониторинга земель застраиваемых территорий
 Fig. 1. Principal technological scheme of the organization of monitoring of lands under construction

Блок исходных данных мониторинга.

Блок исходных данных мониторинга содержит архивные данные, актуальные пространственные данные, геоинформационные сервисы. К архивным данным относятся статистические данные о хозяйственной освоенности и состоянии окружающей среды, оптико-электронные снимки с вертолета, самолета, беспилотных летательных аппаратов, топографические и тематические карты, справочные и литературные данные (рис. 2).

Блок подготовки данных мониторинга.

Данный блок включает в себя предварительную обработку данных, анализ описательных и пространственных данных (рис. 3).

Структурная схема блока основана на двух шагах предварительной обработки пространственных данных: обработка имеющихся данных и данных, которые являются архивными результатами новой съемки. Основные требования к данным ДЗЗ в первую очередь относятся к положению, геометрии съемки, спектральному составу и пространственному разрешению. Еще один важный аспект, пред-

являемый к космическим данным, — временной промежуток съемки. Приведенные ранее шаги позволяют проанализировать исследуемую территорию на текущий момент времени и описать те изменения, которые произошли за конкретный период времени. Число повторяемых шагов зависит от выполнения регулярного мониторинга застраиваемой территории.

Блок исследования градостроительной освоенности территории. Данный блок включает в себя: выявление структуры застройки; обнаружение изменений структуры застройки; градостроительное зонирование территории; выявление структуры природно-экологического каркаса; обнаружение изменений объектов природно-экологического каркаса (рис. 4). Для решения задач изучения структуры и изменений застройки рекомендуется применять космические снимки Landsat-5, 7, представленные в виде шести зональных снимков в диапазонах 0,45–0,52, 0,52–0,60, 0,63–0,69, 0,76–0,90, 1,55–1,75, 2,08–2,35 мкм. Выбор космических снимков с данных съемочных систем обосновывается их доступностью,

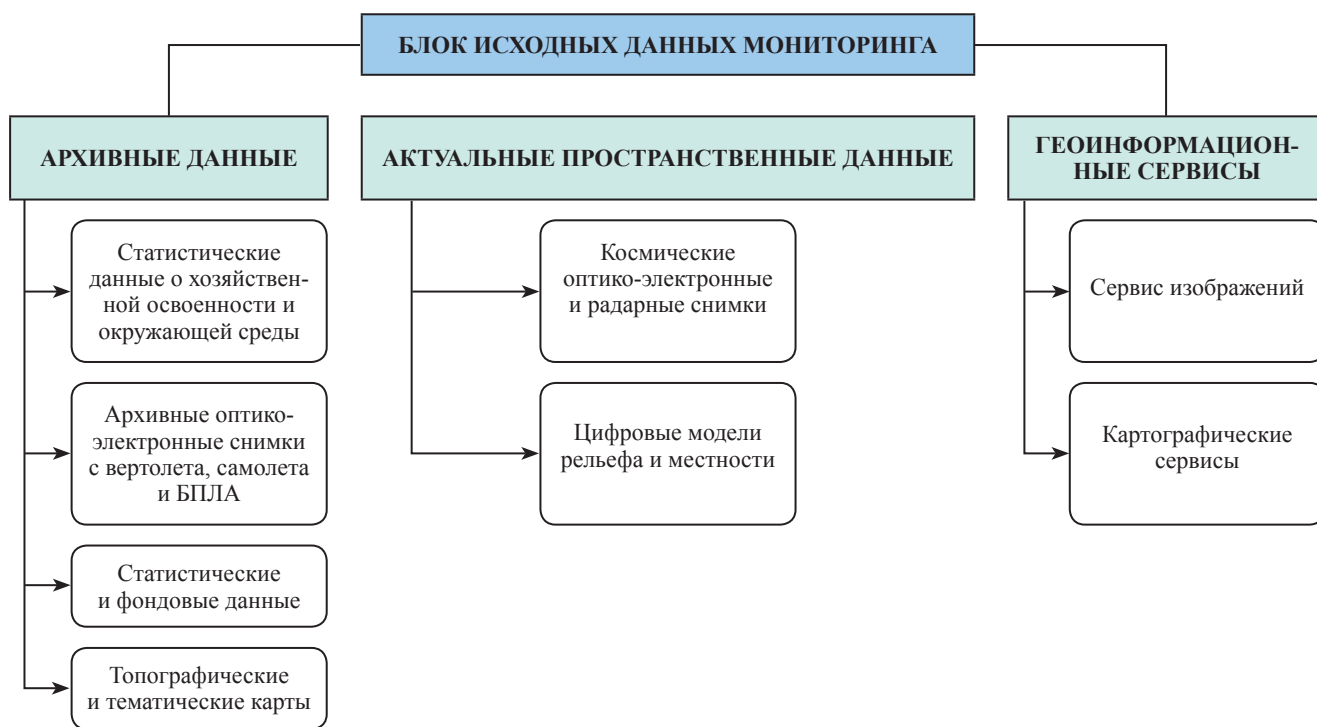


Рис. 2. Схема блока исходных данных мониторинга

Fig. 2. Diagram of the block of initial monitoring data

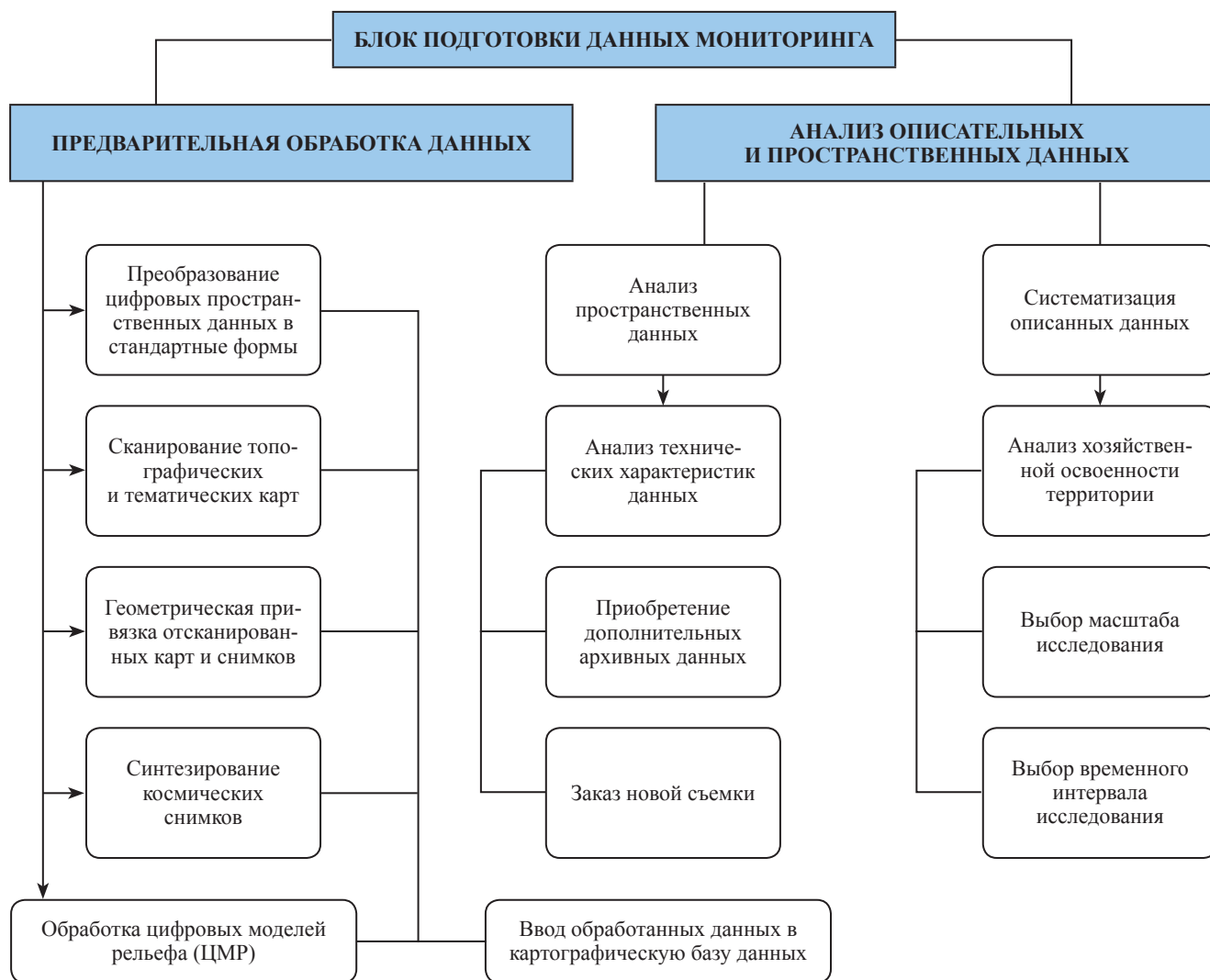


Рис. 3. Схема блока подготовки данных мониторинга
Fig. 3. Diagram of the block of monitoring data preparation

набором многозональных снимков и широким пространственным охватом, что позволяет дешифровать космические снимки и вести их картографирование на уровне муниципальных районов и городских округов. В качестве исходных космических данных можно воспользоваться другими съемочными системами со средним и высоким пространственным разрешением.

В основу градостроительного зонирования застраиваемых территорий положено использование многозональных космических изображений, полученных преимущественно в красной и ближней инфракрасной зоне электромагнитного спектра. Это позволяет наи-

более достоверно выделять виды территориальных зон, которым присущи определенные спектрально-отражательные характеристики земельных участков. Градостроительное зонирование позволяет разделять территорию муниципального образования на конкретные зоны с определенным правовым режимом, конкретным функциональным назначением и четкими границами. Выделение на той или иной территории территориальных зон способствует формированию устойчивого развития территорий муниципальных образований, деятельному сохранению компонентов окружающей природной среды и объектов культурного наследия. Кроме того, это позволит создать

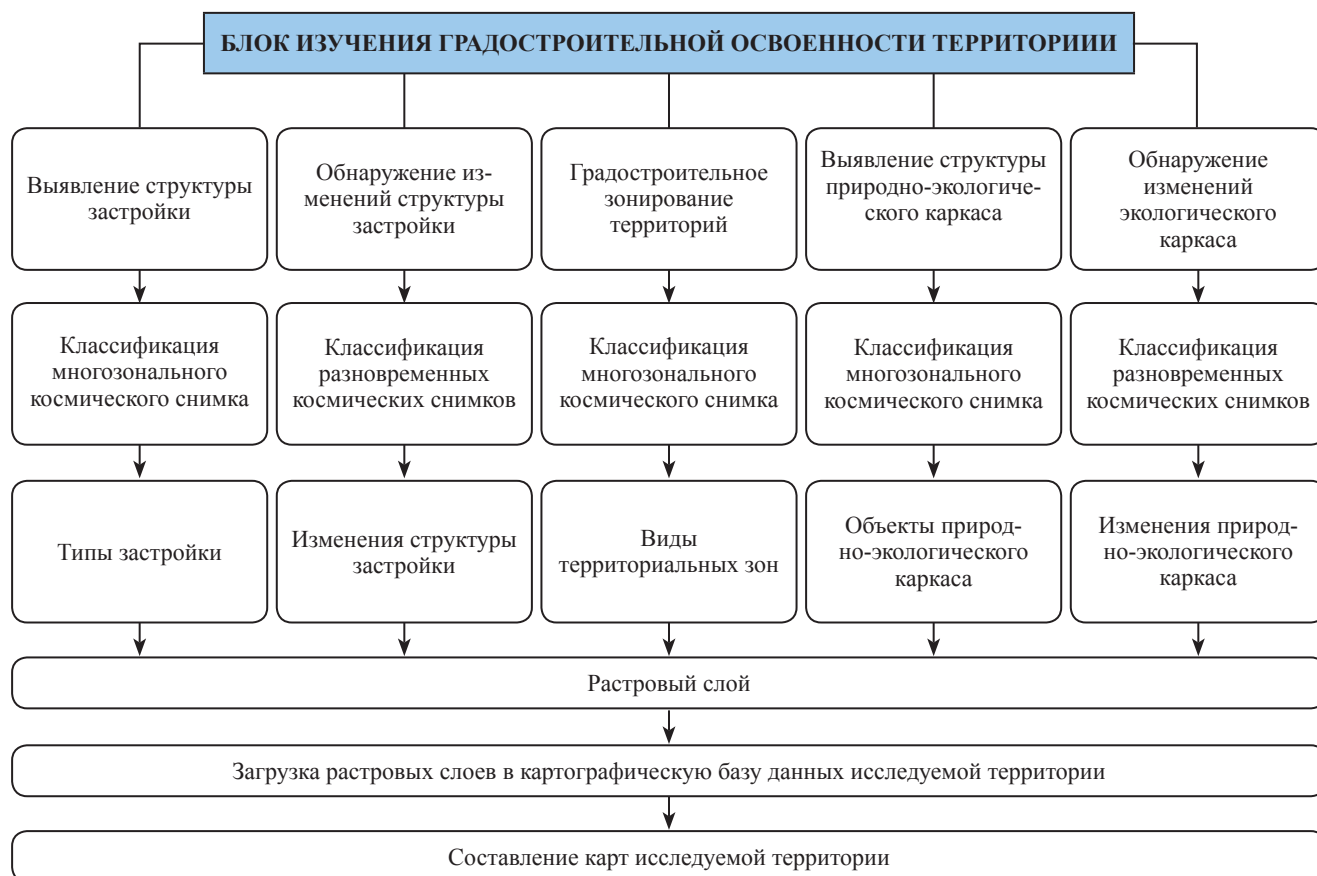


Рис. 4. Схема блока изучения градостроительной освоенности территории

Fig. 4. Block diagram of the study of urban development territory

условия для планировки застраиваемой территории, обеспечить законные права физических и юридических лиц. Основным документом, помимо Градостроительного кодекса России, Правила землепользования и застройки.

Природный потенциал застраиваемых территорий необходимо учитывать при территориальном планировании, так как устойчивость территории к антропогенному воздействию при ведении строительства снижается из-за уменьшения площади естественных экосистем. При возведении новых жилых районов с соответствующей инфраструктурой необходимо соблюдать баланс между этими объектами и естественными экосистемами. Если этого не происходит, то природная среда разрушается, что приводит к сокращению экологических функций по поддержанию территории в устойчивом состоянии. Поэтому так важно выявить и проследить пространственно-структурную

динамику изменений объектов природно-экологического каркаса на застраиваемых территориях.

Блок картографического обеспечения. Любой вид мониторинга требует представления его результатов в наглядном виде. Это необходимо для понимания специалистами разного профиля и широкого круга людей, которые не являются таковыми. Один из наглядных способов отображения мониторинговых исследований — применение картографического метода, т.е. составление карты. В соответствии с этим разработано картографическое обеспечение мониторинга земель застраиваемых территорий. На рис. 5 приведена общая схема блока картографического обеспечения. Более подробно о содержании блока можно ознакомиться в статье [25].

Блок геоинформационного обеспечения мониторинга. Для обеспечения доступа к ре-

зультатам мониторинга земель застраиваемых территорий, а также формирования картографического отчетного материала рекомендуется использовать геоинформационные технологии. Для этого предлагается применять функциональную структуру геоинформационного обеспечения, которая содержит следующие блоки: хранения данных; ввода/вывода пространственной информации; предварительного анализа и обработки пространственных данных; тематической обработки; введения нормативно-справочных документов. Подготовку карт для широкого доступа рекомендуется осуществлять с помощью программного обеспечения компании ESRI — ArcGIS Desktop и ArcGIS Server, а также программного продукта MapInfo.

Полевые изыскания

Полевые исследования — обязательные мероприятия при мониторинге земель застраиваемых территорий по материалам космических съемок. Полевые изыскания проводятся в первую очередь, чтобы установить дешифровочные признаки и описать в поле необходимые характеристики исследуемых объектов местности застраиваемой территории, которые нельзя определить по космическим изображениям в камеральных условиях. Полевое дешифрирование проводится на ключевых участках с помощью наземных методов.

Заключение

В ходе выполненных научных исследований получены следующие основные научные результаты, которые являются новыми и име-

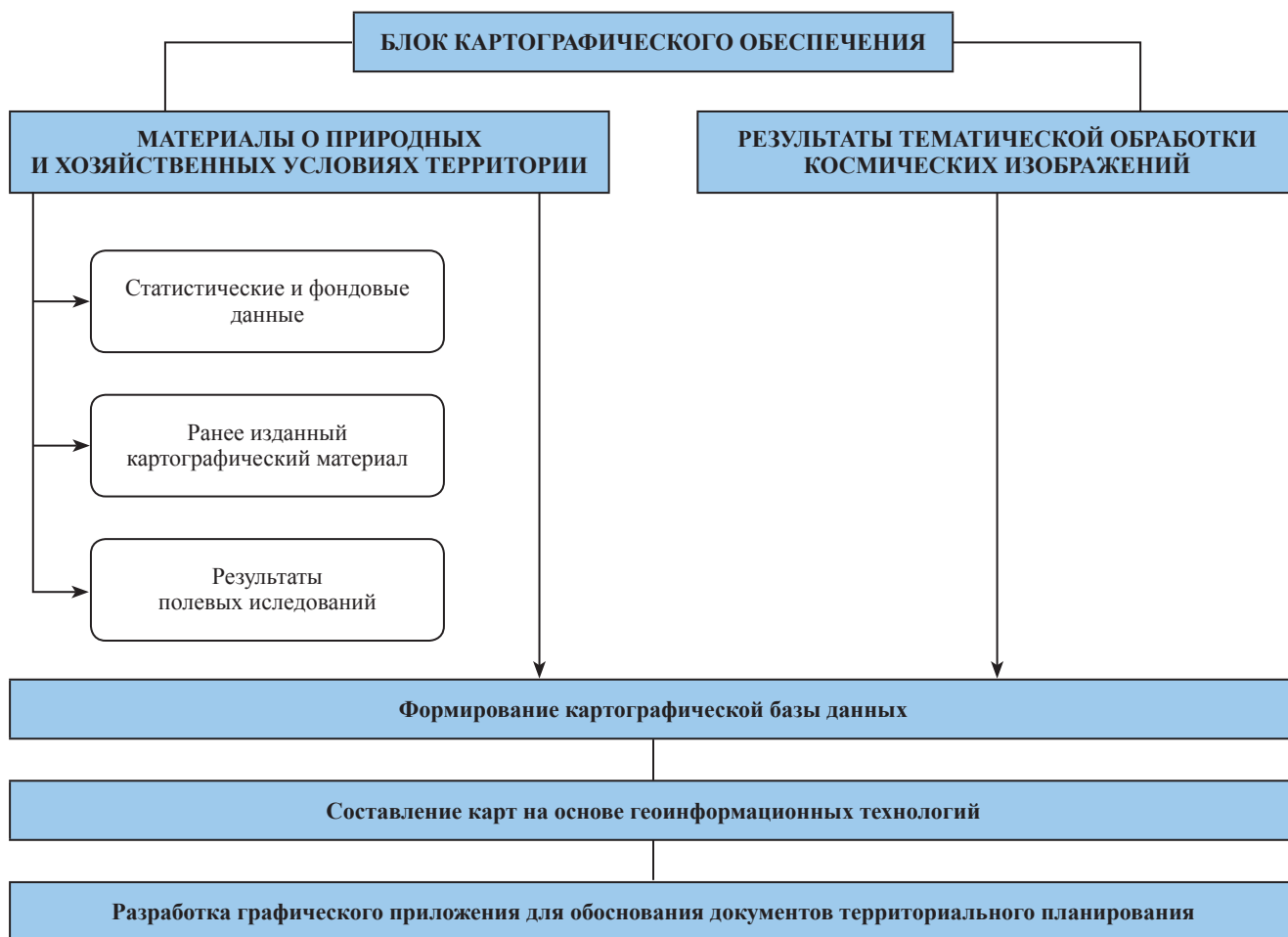


Рис. 5. Схема блока картографического обеспечения

Fig. 5. Cartographical basis diagram

ют важное теоретическое и практическое значение для теории мониторинга земель застраиваемых территорий.

1. Концепция мониторинга земель застраиваемых территорий по материалам космической съемки направлена на информационное сопровождение градостроительной деятельности с целью обеспечения устойчивого развития территорий.

2. Технология мониторинга земель застраиваемых территорий на основе тематической обработки космических изображений, включающая в себя изучение градостроительной освоенности территории и условий природно-экологического каркаса, позволяет формировать графическую документацию, необходимую для разработки генеральных планов развития территорий.

3. Картографическое обеспечение мониторинга земель застраиваемых территорий пред-

усматривает авторские разработки перечня карт, их содержания, методику формирования и функционирования картографической базы данных.

4. Комплекс оригинальных методик тематической обработки космических изображений обеспечивает информационное сопровождение мониторинга структуры и динамики градостроительного освоения, а также мониторинг объектов природно-экологического каркаса.

Теоретическая значимость научных исследований для развития мониторинга земель как научного направления заключается в разработке концепции и технологии мониторинга земель застраиваемых территорий по материалам космических съемок, которые обеспечивают решение важных народнохозяйственных задач по информационному сопровождению градостроительной деятельности в рамках устойчивого развития территорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электронный ресурс: <http://www.demoscope.ru/weekly/2007/0273/barom02.php>.
2. Кравцова В.И., Ерлич В.А. Картографирование структуры застройки территорий, присоединяемых к Москве // *Геодезия и картография*. 2013. № 6. С. 23–32.
3. Конфектов М.Н. Картографирование типов застройки типов Подмосковья: Дис. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук: 25.00.33. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2015. 194 с.
4. Зеленков В.В. Разработка методики тематического дешифрирования космических изображений для целей инженерно-экологических изысканий застраиваемых территорий: Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: 25.00.34. М.: МИИГАиК, 2013. 149 с.
5. Марчуков В.С., Чеман Джамал Ахмад. Автоматизированное выявление изменений на застроенных территориях Северного Ирака по многозональным космическим снимкам // *Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка»*. 2013. № 5. С. 74–77.
6. Балдина Е.А., Дедова В.Ю. Выявление и картографирование антропогенных изменений территории по снимкам в тепловом инфракрасном диапазоне (на примере новых территорий Москвы) // *Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка»*. 2016. Т. 60 № 5. С. 92–99.
7. Чуфарова Н.Е. Фрактальный анализ районов городской застройки на снимках в тепловом ИК-диапазоне // *Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка»*. 2012. № 1. С. 62–67.
8. Sohn G., Dowman I. Data fusion of high-resolution

REFERENCES

1. URL: <http://www.demoscope.ru/weekly/2007/0273/barom02.php>.
2. Kravtsova V.I., Erlich V.A. Mapping of the territories attached to Moscow building structure. *Geodeziya I Kartografiya*. Geodesy and Cartography. 2013, 6: 23–32. [In Russian].
3. Konfektov M.N. *Kartografirovaniye tipov zastroyki Podmoskov'ya*. Mapping of building types in Moscow region. PhD: Moscow: Lomonosov Moscow State University 2015: 194 p. [In Russian].
4. Zelenkov V.V. *Razrabotka metodiki tematicheskogo deshifirovaniya kosmicheskikh izobrazheniy dlya tseyey inzhenerno-ekologicheskikh izyskaniy zastraivaemykh territoriy*. Development of the method of thematic interpretation of space images for the purposes of engineering and environmental surveys of non built-up areas. PhD: Moscow: MIIGAİK, 2013: 149 p. [In Russian].
5. Marchukov V.S., Cheman Dzhamal Akhmad. Automated change detection in urban territories of the Northern Iraq with multi-spectral space imagery. *Izvestiya vuzov «Geodeziya i aerofotosyemka»*. Izvestia vusov «Geodesy and Aerophotosurveying». 2013, 5: 74–77.
6. Baldina E.A., Dedova V.Yu. Detection and Mapping of Human-Induced Changes on Territory Using Thermal Infrared Images: Case Study of the New Areas of Moscow. *Izvestiya vuzov «Geodeziya i aerofotosyemka»*. Izvestia vusov «Geodesy and Aerophotosurveying». 2016, 60(5): 92–99. [In Russian].
7. Chufarova N.E. Fractal analysis of urban areas in

satellite imagery and LiDAR data for automatic building extraction. *ISPRS // Journ. of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2007. № 1. P. 43–63.

9. Миртова И.А., Пацына Ю.Е. Оценка состояния нарушенных земель Московской области с использованием космических снимков // *Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъёмка»*. 2013. № 3. С. 71–76.

10. Абдурахманова И.Г. Усовершенствованный алгоритм тематической обработки космических изображений городского ландшафта // *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка*. 2016, Т. 60 № 3. С. 86–89.

11. Li X., Liu X., Yu L. Aggregative model-based classifier ensemble for improving land-use/cover classification of Landsat TM Images // *Int. Journ. of Remote Sens*. 2014. № 35. P. 1481–1495.

12. Erol H., Akdeniz F. A. Per-field classification method based on mixture distribution models and an application to Landsat Thematic Mapper data // *Int. Journ. of Remote Sens*. 2005. № 26. P. 1229–1244.

13. Roy D.P., Wulder M.A., Loveland T.R. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*. 2014, 145. P. 154–172.

14. Zha Y., Gao J., Ni S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery // *Int. Journ. of Remote Sens*. 2003. № 24. P. 583–594.

15. Мельникова Е.Б. Аэрокосмический мониторинг нарушенных сельскохозяйственных земель // *Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъёмка»*. 2010. № 2. С. 75–78.

16. Миртова И.А. Аэрокосмический топографический мониторинг нарушений городских земель (на примере Москвы) // *Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъёмка»*. 2012. № 4. С. 58–65.

17. Учайев Дм.В. Учайев Д.В., Чабан Л.Н. Разработка методики выделения границ лесных экосистем посредством мультифрактальной сегментации спутниковых изображений высокого разрешения // *Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъёмка»*. 2012. № 4. С. 86–92.

18. Чинь ле Хунг, Мельникова Е.Б. Мониторинг динамики растительного покрова по данным разновременных изображений индекса *NDVI* (на примере провинции Лам Донг – Центральные Нагорья Вьетнама) // *Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъёмка»*. 2016. Т. 60. № 1. С. 63–68.

19. Хренов Н.Н. Применение материалов тепловой съёмки для оценки состояния грунтов и сооружений при строительстве на Ямале (Сабетта) // *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка*. 2017. Т. 61. № 2. С. 115–120.

20. Малинников В.А., Неуен Ван Нам. Методика обнаружения замещения видов землепользования на водонепроницаемые поверхности по многозональным космическим изображениям SPOT: апробация на территории г. Ханой (Вьетнам). 2017. № 3. С. 87–94.

21. Rawat J.S., Kumar Manish. Monitoring land use/cover

thermal infrared images. *Izvestiya vuzov «Geodeziya i aerofotosyemka»*. *Izvestia vusov «Geodesy and Aerophotosurveying»*. 2012, 1: 62–67. [In Russian].

8. Sohn G., Dowman I. Data fusion of high-resolution satellite imagery and LiDAR data for automatic building extraction. *ISPRS. Journ. of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2007, 1: 43–63.

9. Mirtova I.A. Patsyna Yu.E. Assessing disturbed lands in Moscow region with the use of space imagery. *Izvestiya vuzov «Geodeziya i aerofotosyemka»*. *Izvestia vusov «Geodesy and Aerophotosurveying»*. 2013, 3: 71–76. [In Russian].

10. Abdurakhmanova I.G. The Modified Algorithm for Thematic Processing of Space Images of Urban Landscape. *Izvestiya vuzov «Geodeziya i aerofotosyemka»*. *Izvestia vusov «Geodesy and Aerophotosurveying»*. 2016, 60(3): 86–89. [In Russian].

11. Li X., Liu X., Yu L. Aggregative model-based classifier ensemble for improving land-use/cover classification of Landsat TM Images. *Int. Journ. of Remote Sens*. 2014, 35: 1481–1495.

12. Erol H., Akdeniz F.A. Per-field classification method based on mixture distribution models and an application to Landsat Thematic Mapper data. *Int. Journ. of Remote Sens*. 2005, 26: 1229–1244.

13. Roy D.P., Wulder M.A., Loveland T.R. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sens. Environ*. 2014, 145: 154–172.

14. Zha Y., Gao Y., Ni S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *Int. Journ. of Remote Sens*. 2003, 24: 583–594.

15. Melnikova E.B. Aerospace Monitoring of Devastated Agricultural Areas. *Izvestiya vuzov «Geodeziya i aerofotosyemka»*. *Izvestia vusov «Geodesy and Aerophotosurveying»*. 2010, 2: 75–78. [In Russian].

16. Миртова И.А. Aerospace topographic monitoring of urban land disruption (on the example of Moscow). *Izvestiya vuzov «Geodeziya i aerofotosyemka»*. *Izvestia vusov «Geodesy and Aerophotosurveying»*. 2012, 4: 58–65. [In Russian].

17. Uchayev Dm.V. Uchayev D.V., Chaban L.N. Development of methods for identifying the boundaries of forest ecosystems through multifractal segmentation of high-resolution satellite images. *Izvestiya vuzov «Geodeziya i aerofotosyemka»*. *Izvestia vusov «Geodesy and Aerophotosurveying»*. 2012, 4: 86–92. [In Russian].

18. Chin le Khung, Melnikova E.B. Plant cover alteration detection using multi-temporal landsat *NDVI* data: examination of lam dong province in central highlands of Vietnam. *Izvestiya vuzov «Geodeziya i aerofotosyemka»*. *Izvestia vusov «Geodesy and Aerophotosurveying»*. 2016, 60 (1): 63–68. [In Russian].

19. Khrenov N.N. Assessment of Ground Condition And Structural Scrutiny Using Thermal Exploration Content During The Construction Of Proyects In Yamal (Sabetta).

change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India // *The Egyptian Journ. of Remote Sensing and Space Science*. 2015. V. 18. Is. 1. P. 77–84.

22. *Xia Jinga, Wan-Qiang Yaoa, Ji-Hua Wangb, Xiao-YuSong*. A study on the relationship between dynamic change of vegetation coverage and precipitation in Beijing's mountainous areas during the last 20 years // *Mathematical and Computer Modelling*. 2011. V. 54. Is. 3–4. P. 1079–1085.

23. *Majid Farooq, Mohammad Muslim*. Dynamics and forecasting of population growth and urban expansion in Srinagar city – a geospatial approach // *The Int. Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2014. V. XL-8, ISPRS Technical Commission VIII Symposium, 09–12 December 2014, Hyderabad, India. P. 709–716.

24. *Arshad Amin, Shahab Fazal*. Quantification of Land Transformation Using Remote Sensing and GIS Techniques // *American Journ. of Geographic Information System*. 2012. V. 1. № 2. P. 17–28.

25. *Беленко В.В.* Научно-методическое обеспечение градостроительного картографирования застраиваемых территорий по материалам космической съёмки // *Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъёмка»*. 2018. Т. 62. № 3. С. 346–357.

Izvestiya vuzov «Geodeziya i aerofotosyemka». *Izvestia vusov «Geodesy and Aerophotosurveying»*. 2017, 61 (2): 115–120. [In Russian].

20. *Malinnikov V.A., Nguyen Van Nam*. Detection Approach For Land Use Change Based On Impervious Surfaces Extracted From Multispectral Imagery Of Spot Satellite: A Study Case In Hanoi, Vietnam. *Izvestiya vuzov «Geodeziya i aerofotosyemka»*. *Izvestia vusov «Geodesy and Aerophotosurveying»*. 2017, 3: 87–94. [In Russian].

21. *Rawat J.S., Kumar Manish*. Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. *The Egyptian Journ. of Remote Sensing and Space Science*. 2015, 18 (1): 77–84.

22. *Xia Jinga, Wan-Qiang Yaoa, Ji-Hua Wangb, Xiao-YuSong*. A study on the relationship between dynamic change of vegetation coverage and precipitation in Beijing's mountainous areas during the last 20 years. *Mathematical and Computer Modelling*. 2011, 54 (3–4): 1079–1085.

23. *Majid Farooq, Mohammad Muslim*. Dynamics and forecasting of population growth and urban expansion in Srinagar city – a geospatial approach. *The Int. Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2014. V. XL-8, ISPRS Technical Commission VIII Symposium, 09–12 December 2014, Hyderabad, India. P. 709–716.

24. *Arshad Amin, Shahab Fazal*. Quantification of Land Transformation Using Remote Sensing and GIS Techniques // *American Journ. of Geographic Information System*. 2012, 1(2): 17–28.

25. *Belenko V.V.* Scientifically-methodical maintenance of town-planning mapping of non built-up territories on materials of space shooting. *Izvestiya vuzov «Geodeziya i aerofotosyemka»*. *Izvestia vusov «Geodesy and Aerophotosurveying»*. 2018, 62 (3): 346–357. [In Russian].