

Мониторинг объектов природно-экологического каркаса застраиваемых территорий по материалам космических съёмок

© 2019. В. В. Беленко, к. т. н., доцент,
Московский государственный университет геодезии и картографии,
105064, Россия, г. Москва, Гороховский пер., д. 4,
e-mail: belenko.v.v@yandex.ru

Рассмотрены теоретические исследования автора, посвящённые мониторингу объектов природно-экологического каркаса (ПЭК) застраиваемых территорий по материалам космических съёмок. В статье кратко приведён аналитический обзор авторов по изучаемой проблеме. Приведена функциональная структура объектов ПЭК застраиваемых территорий. Теоретически обоснована методика автоматизированного выявления структуры ПЭК застраиваемых территорий с использованием космических изображений. Было выявлено, что применение индексных изображений для выявления объектов ПЭК позволяет с высокой степенью достоверности выявлять границы изучаемых объектов. В статье приведена методика по мониторингу изменений объектов ПЭК с применением алгоритма, написанного на языке программирования MATLAB. Применение автоматизированного алгоритма на указанном языке программирования позволяет на основе определения пороговых значений спектрально-яркостных характеристик объектов ПЭК выделять их контура с достаточно высокой точностью. Выделение контуров производится для серии разновременных космических снимков. Используя модуль разности, строится результирующее разностное изображение, отражающее изменение объектов ПЭК. По результирующим изображениям составляется авторский оригинал карты изменений объектов ПЭК.

Ключевые слова: космические снимки, территориальное планирование, застраиваемые территории, природно-экологический каркас.

Monitoring of objects of the natural-ecological framework of the undeveloped territories based on satellite imagery

© 2019. V. V. Belenko ORCID: 0000-0002-7159-7428*
Moscow State University of Geodesy and Cartography,
4, Gorokhovsky Pereulok, Moscow, Russia, 105064,
e-mail: belenko.v.v@yandex.ru

The author's theoretical studies devoted to the monitoring of objects of the natural-ecological framework of the not built-up areas on the basis of satellite imagery materials are considered. The article briefly presents an analytical review of the key work of domestic and foreign scientists on the studied problem. The functional structure of the objects of the natural-ecological framework of the not built-up territories is presented. The method of automated identification of the structure of not built-up areas using satellite imagery is theoretically justified. The basis for identifying the structure of objects of the natural-ecological framework is the formation of an index image based on the near-IR, short-wave IR and red channels. This allows to concentrate in one image the greatest amount of spectral-reflective information about the objects of the natural-ecological framework. The main element of such objects is vegetation, therefore the combination of the indicated spectral channels of a multispectral image allows to obtain more information about the object being studied, its structure and state.

The article presents a methodology for monitoring changes in the objects of the natural-ecological framework using an algorithm written in the programming language MATLAB. The method of monitoring the detection of changes in objects of the natural-ecological framework is based on the selection of their contours in a series of multi-temporal space images using an automated algorithm written in the MATLAB language. The choice of this approach is substantiated by the fact that most researchers use methods of controlled classification for such surveys, which do not give a high accuracy in isolating the contours of objects of the natural-ecological framework. The use of an automated algorithm in the specified programming language allows, based on the determination of the threshold values of the spectral-brightness characteristics of objects of the natural-ecological framework, to distinguish their contours with sufficiently high accuracy. The selection of contours is made for a series of multi-time satellite images, on the basis of which the resulting image is constructed using the spacing module. On the base of resulting images the author's original map of changes in objects of the natural-ecological framework is compiled.

Experimental studies conducted on a test area to test the developed methods showed their effectiveness, correctness and representativeness of the results obtained, which, ultimately, allows to monitor the state of the land of not built-up areas with a sufficiently high level of detail.

Keywords: satellite images, urban planning, mapping, ecological nets, not built-up area.

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 и соответствующей инфраструктуры, необходимо соблюдать баланс между этими объектами и естественными экосистемами, иначе происходит разрушение природной среды, а это, в свою очередь, приводит к сокращению их экологических функций по поддержанию территории в устойчивом состоянии. В связи с этим важно выявить и проследить пространственно-структурную и динамику изменений объектов природно-экологического каркаса на застраиваемых территориях. Решению этой задачи поможет использование многозональных космических изображений, которые имеют необходимые для этого параметры съёмки. Поэтому задача изучения таких объектов по космическим снимкам и их картографирование является необходимой и актуальной для мониторинга земель застраиваемых территорий.

Краткий аналитический обзор ключевых работ

Вопросами изучения структуры и динамики изменений естественных экосистем и их оценкой занимались многие учёные, как зарубежные, так и отечественные. Так, работа [1] посвящена аэрокосмическому мониторингу нарушенности открытых земель; работа [2] аэрокосмическому топографическому мониторингу нарушений городских земель. Интересна работа [3], посвящённая выделению границ экосистем посредством мультифрактальной сегментации спутниковых изображений высокого разрешения. В ней авторы демонстрируют новый подход на основе мультифрактальной сегментации космических снимков, который позволяет повысить точность обнаружения границ лесов с различным типом растительности. В работе [4] уделено внимание оценке состояния городских территорий по материалам дистанционного зондирования с целью выявления зон поражения нефтепродуктами

окружающей среды. По материалам космической съёмки проведена всесторонняя оценка состояния территорий г. Грозный и выделены зоны поражения нефтепродуктами окружающей среды, что позволило дополнить данные о признаках дешифрирования различных объектов нефтяного промысла. Интересна работа [5], посвящённая тематической обработке космических снимков с целью повышения точности визуального дешифрирования на основе применения вегетационных индексов. В ней авторы показали, что самую точную взаимосвязь с общей биомассой растительности имеет вегетационный индекс GEMI. Проблемы изучения структуры и динамики изменений нарушенности экосистем отражены в исследованиях [6–11].

Вопросы изучения состояния лесных ресурсов рассмотрены в [12], оценка динамики зелёных насаждений городской территории по космическим снимкам – в [13], вопросы изучения почвенно-растительного покрова городских экосистем по космическим снимкам высокого разрешения и снимков с беспилотных летательных аппаратов – в [14], вопросы исследования городских экосистем – в [15], вопросы дистанционного зондирования растительности оптико-микроволновыми методами – в работах [16–19].

По результатам аналитического обзора научных исследований отечественных и зарубежных авторов, а также нормативных документов для решения обозначенных проблем необходимо решить следующие научные задачи: разработать методику автоматизированного выявления структуры объектов природно-экологического каркаса (ПЭК) с использованием космических изображений; разработать методику мониторинга объектов ПЭК с применением алгоритма выявления изменений их структуры по материалам космической съёмки.

Методика и результаты исследования

В структуре ПЭК предлагается выделять следующие основные элементы: базовые элементы (крупные лесные и болотные природно-территориальные комплексы, не имеющие охранного статуса); ключевые элементы (коренные лесные и болотные природно-

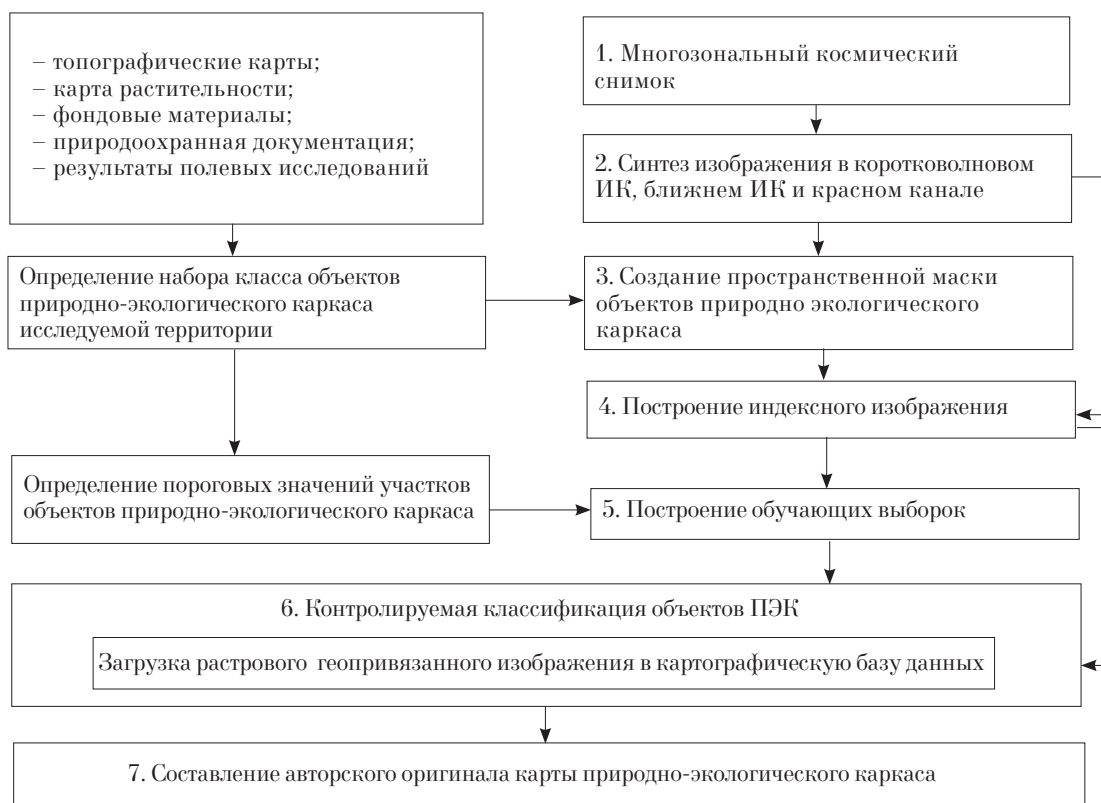


Рис. 1. Методика выявления структуры природно-экологического каркаса
Fig. 1. Method of identifying the structure of the natural-ecological framework

территориальные комплексы, водоразделы малых рек и ручьёв); связующие элементы (долинные природно-территориальные комплексы крупных и малых рек; русла рек). Кроме этого выделяют второстепенные элементы: защитные; восстановленные. Указанный функциональный состав объектов ПЭК разработан на основе исследований, приведённых в работе [20]. Для выявления структуры ПЭК застраиваемых территорий разработана соответствующая методика (рис. 1).

В качестве тестовой для исследований территории выбран Ленинский муниципальный район Московской области, расположенный на юге Подмосковья. Район граничит на западе с Северным и Южным Бутово, на севере с МКАД, на востоке с рекой Москва, а на юге с Подольским районом и Домодедовским городским округом. Суть предлагаемой методики заключается в построении индексного изображения на основе суммирования ближнего ИК, коротковолнового ИК и красного каналов по формуле:

$$S = Rnir + Rmir + Rred,$$

где $Rmir$, $Rred$ и $Rnir$ значения спектральной яркости в ближнем ИК канале, красном и коротковолновом канале соответственно.

Выбор сочетания указанных спектральных зон снимка для построения индексного изображения обосновывается тем, что в этих каналах отражается наибольшее количество цифровой информации о растительности, основном объекте ПЭК. Для последующей контролируемой классификации были выделены следующие объекты: крупные лесные массивы (хвойные и широколиственные леса), долинные природно-территориальные комплексы малых рек, открытые лесные участки. Классификация основана на методе минимального расстояния.

На заключительном этапе происходит составление авторского оригинала карты ПЭК исследуемой территории. На рисунке 2 (см. цв. вкладку) представлен авторский оригинал карты ПЭК, отражающий его структуру.

Далее рассмотрим методику мониторинга автоматизированного обнаружения изменений объектов ПЭК на основе выделения контуров. На рисунке 3 представлена технологическая схема методики.

Мониторинг изменений объектов ПЭК предлагается изучать по 5–10-летним наборам временных космических снимков высокого и среднего разрешения. Это обусловлено тем, что указанный период наиболее предпочти-

телен для выявления изменений. Суть, представленной методики заключается в следующем. Для исходных изображений на начало и на конец изучаемого периода подбираются зональные изображения по наилучшим яркостным характеристикам и контрастности, которые лучше всего отображают объекты ПЭК. Далее выполняется определение пороговых значений спектрально-яркостных характеристик объектов ПЭК. Это необходимо для того, чтобы в дальнейшем, используя алгоритм, выделить границы объектов ПЭК. Специально для решения выделения границ на языке программирования MATLAB написан алгоритм. Идея алгоритма заключается в том, что в среде MATLAB открывается исходное изображение, далее вводятся значения яркости для конкретного объекта ПЭК, размер маски. На основе конкретного значения яркости с помощью маски сравниваются значения пикселей по всему изображению с заданным значением яркости объекта. Если конкретный пиксель попадает по заданное значение, то он попадает в границы выделяемого объекта; если же нет, то он не входит в данную область интереса. В результате обработки двух исходных космических изображений строится разностное изображение (рис. 4).

На данном изображении чёрным цветом отобразились произошедшие изменения объектов ПЭК исследуемой территории. На базе разностного изображения составлен авторский оригинал карты изменений объектов ПЭК (рис. 5, см. цв. вкладку). Для количественной оценки изменений объектов ПЭК предлагается использовать показатель тенденции изменения ($S_{тенд.}$) и скорость изменения объектов ПЭК ($V_{изм.}$). В таблице приведены динамические показатели разрушения естественных экосистем исследуемой территории для двух периодов наблюдений.

Основным фактором разрушения таких комплексов служит изменение травяного и древесного покрова под различные коммунально-бытовые нужды вследствие вырубки. Наибольшая скорость изменения наблюдается у природно-территориальных комплексов открытых пространств. Основным фактором их разрушения служит застройка индивидуальными жилыми домами. Изменений для крупных массивов широколиственных и хвойных лесов, а также для особо охраняемых природных территорий обнаружено не было. Крупные массивы широколиственных лесов оказались мало подвержены изменению, об этом говорят и динамические показатели



Рис. 3. Методика мониторинга обнаружения изменений объектов природно-экологического каркаса
 Fig. 3. Methods of monitoring the detection of changes in objects of the natural-ecological framework

В. В. БЕЛЕНКО
МОНИТОРИНГ ОБЪЕКТОВ ПРИРОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ
ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК, С. 21

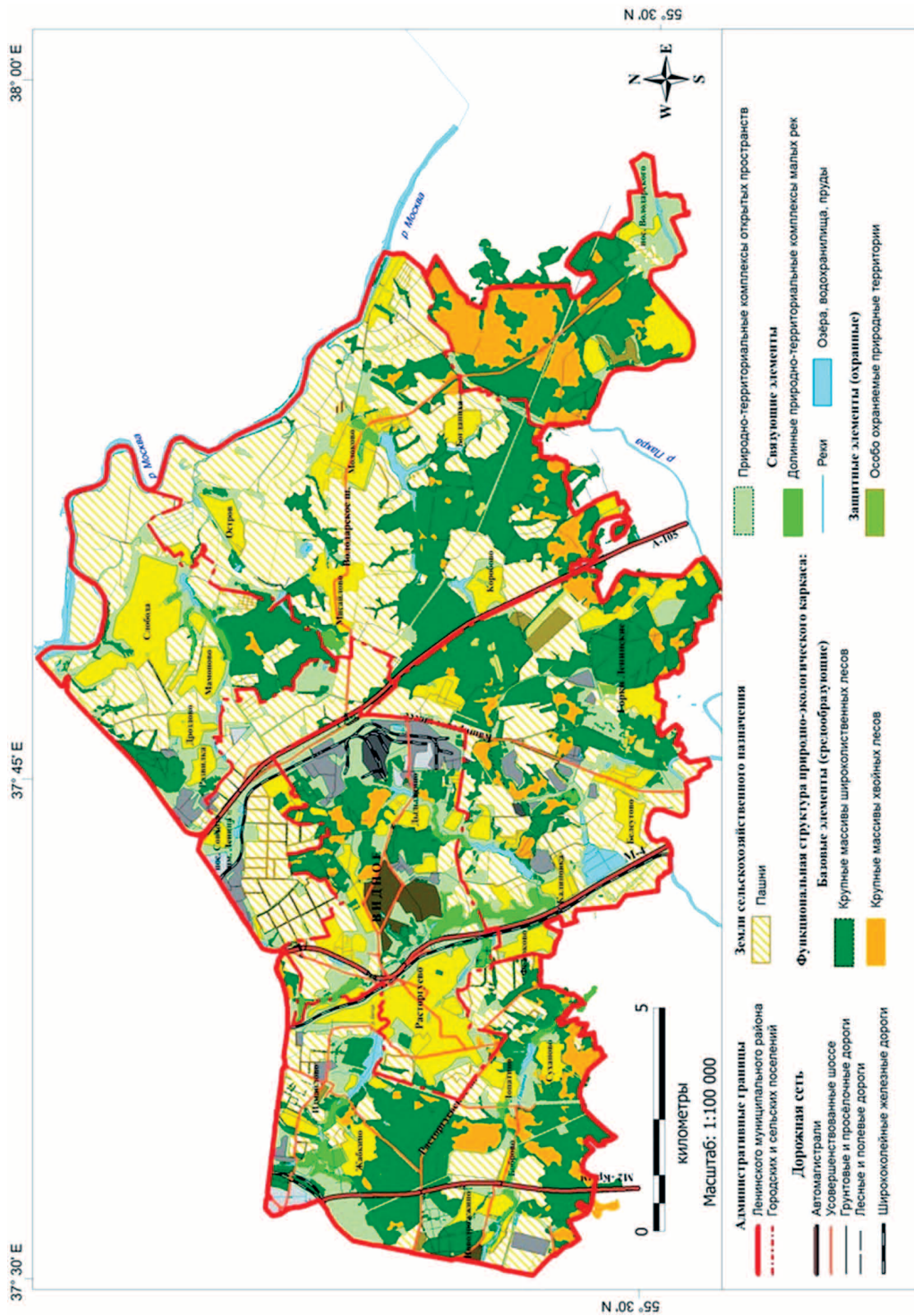


Рис. 2. Карта природно-экологического каркаса / **Fig. 2.** Map of the natural-ecological framework

В. В. БЕЛЕНКО
МОНИТОРИНГ ОБЪЕКТОВ ПРИРОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ
ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКИХ СЪЁМОК, С. 21

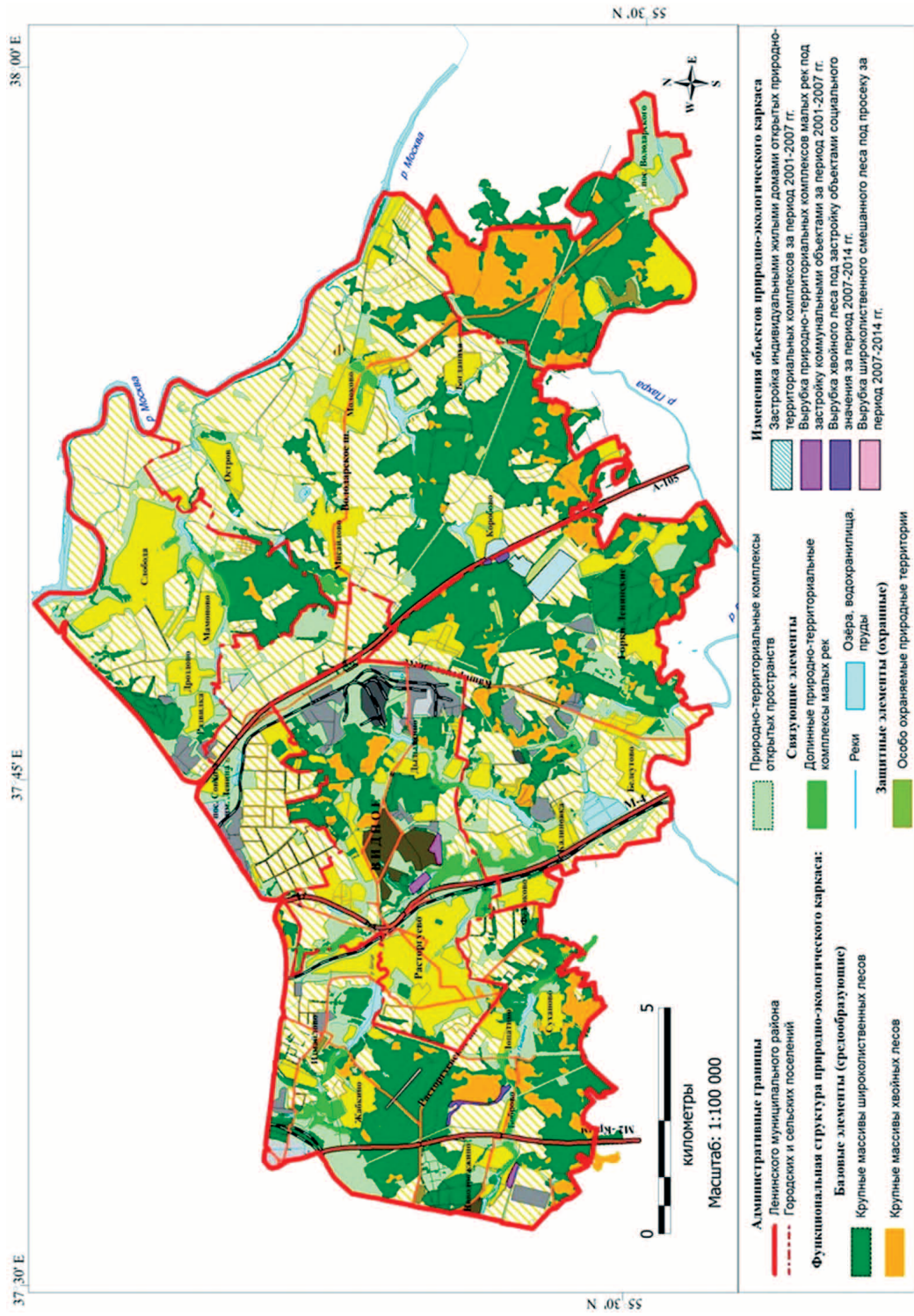


Рис. 5. Карта изменений природно-экологического каркаса / **Fig. 5.** Map of changes in the natural-ecological framework

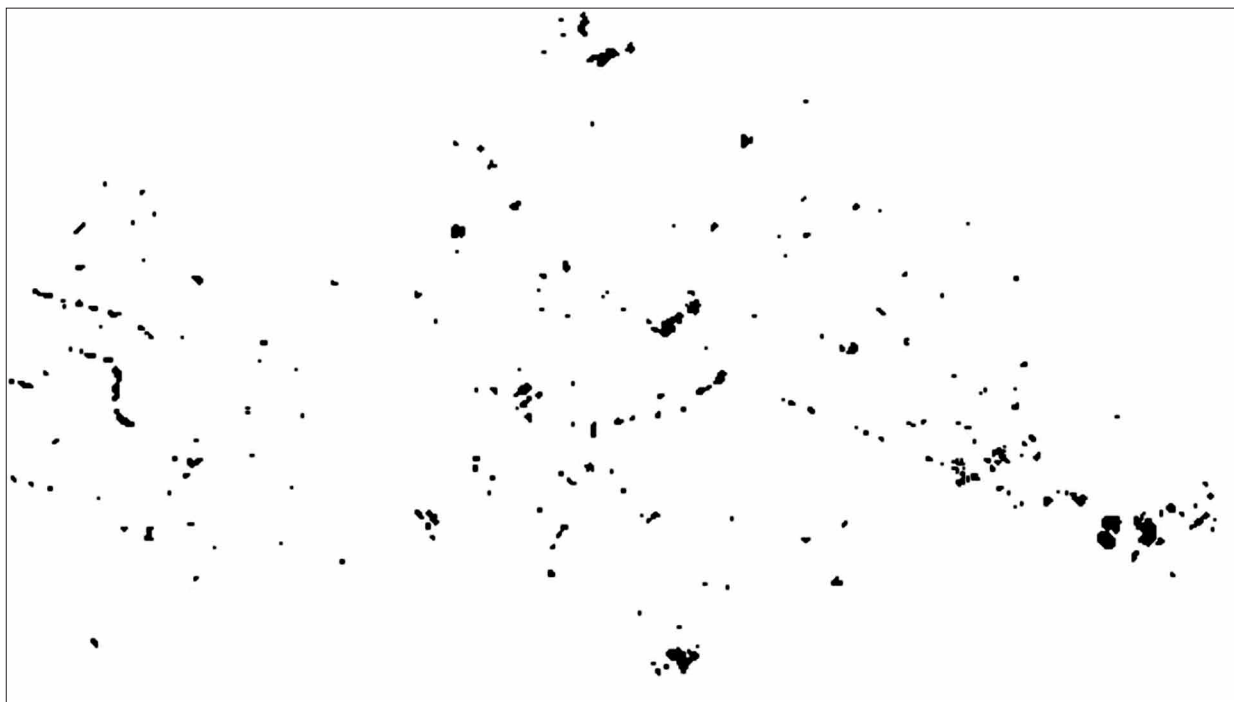


Рис. 4. Разностное изображение, отображающее изменение объектов природно-экологического каркаса за период с 2007 по 2014 гг.
Fig. 4. Differential image showing the change in objects of the natural-ecological framework for the period from 2007 to 2014

Таблица / Table

Показатели изменения природно-экологического каркаса
 Indicators of changes in the natural-ecological framework

Наименование объекта природно-экологического каркаса The name of the object of natural-ecological framework	2001–2007 гг.		2007–2014 гг.	
	S _{тенд.} / trend indicator, %	V _{изм.} , га/год rate of change, ha/yr	S _{тенд.} / trend indicator, %	V _{изм.} , га/год rate of change, ha/yr
Крупные массивы широколиственных лесов / Large tracts of deciduous forests	0	0	0,1	0,97
Крупные массивы хвойных лесов / Large tracts of coniferous forests	0	0	2,3	6,22
Природно-территориальные комплексы открытых пространств / Natural-territorial complexes of open spaces	0,2	13,58	0	0
Долинные природно-территориальные комплексы малых рек / Valley natural-territorial complexes of small rivers	11	4,45	0	0
Особо охраняемые природные территории / Specially protected natural areas	0	0	0	0

разрушения естественных экосистем. Основным фактором разрушения массивов хвойных лесов служит застройка объектами социального значения.

Заключение

В основе выявления структуры ПЭК лежит формирование индексного изображения на базе ближнего ИК, коротковолнового ИК и красного канала. Методика мониторин-

га обнаружения изменений объектов ПЭК основана на выделении их контуров по серии разновременных космических изображений посредством автоматизированного алгоритма, написанного на языке MATLAB. Выбор такого подхода обосновывается тем, что большинство исследователей для подобных изысканий применяют методы контролируемой классификации, которые не дают высокой точности выделения контуров объектов. Применение автоматизированного алгоритма на языке

программирования позволяет на основе определения пороговых значений спектрально-яркостных характеристик выделять контура с достаточно высокой точностью. Проведённые экспериментальные исследования на тестовой территории по апробированию разработанных методик показали их действенность, корректность и репрезентативность полученных результатов.

Литература

1. Мельникова Е.Б. Аэрокосмический мониторинг нарушенных сельскохозяйственных земель // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъёмка. 2010. № 2. С. 75–78.
2. Миртова И.А. Аэрокосмический топографический мониторинг нарушений городских земель (на примере Москвы) // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъёмка. 2012. № 4. С. 58–65.
3. Учаев Д.В., Учаев Д.В., Чабан Л.Н. Разработка методики выделения границ лесных экосистем посредством мультифрактальной сегментации спутниковых изображений высокого разрешения // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъёмка. 2012. № 4. С. 86–92.
4. Сладкопевцев С.А., Кубышкина К.Н. Оценка состояния территорий г. Грозный по материалам дистанционного зондирования земли в целях городского кадастра // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъёмка. 2013. № 1. С. 64–70.
5. Каркон Варносфадерани М.М., Харазми Р.С., Шаповалов Д.А., Митрофанов Е.М. Оценка точности визуального дешифрирования растительного покрова на основе вегетационных индексов (на примере Загроса, Западный Иран) // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъёмка. 2016. № 4. С. 90–93.
6. Majid F., Mohammad M. Dynamics and forecasting of population growth and urban expansion in Srinagar city – a geospatial approach // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2014. V. XL-8. P. 709–716.
7. Arshad A., Shahab F. Quantification of land transformation using remote sensing and GIS techniques // American Journal of Geographic Information System. 2012. V. 1. P. 17–28.
8. Seema R. Monitoring land use/land cover response to urban growth of the city of Jalandhar using remote sensing data // International Journal of Advanced Research. 2014. V. 2. P. 1122–1129.
9. Morenikeji E., Umaru S., Liman M., Ajagbe A. Application of remote sensing and geographic information system in monitoring the dynamics of land use in Minna, Nigeria // International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences. 2015. V. 5. P. 320–337.
10. Rawat J.S., Kumar M. Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case

study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India // The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 2015. V. 18. No.1. P. 77–84.

11. Xia Jing, Wan-Qiang Yao, Ji-Hua Wang, Xiao-Yu Song 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. No. 3–4. P. 1079–1085.
12. Zha Y., Gao J. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery // International Journal of Remote Sensing. 2003. V. 24 (3). P. 583–594.
13. Миртова И.А., Телятников В.Н. Оценка динамики зелёных насаждений Москвы по космическим снимкам // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъёмка. 2013. № 2. С. 75–81.
14. Зверев А.Т., Фисенко Е.В. Изучение почвенно-растительного покрова городских экосистем по материалам с беспилотного летательного аппарата и космическим снимкам высокого разрешения // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъёмка. 2014. № 3. С. 52–56.
15. Erol H., Akdeniz F. A per-field classification method based on mixture distribution models and an application to Landsat Thematic Mapper data // International Journal of Remote Sensing. 2005. V. 26. P. 1229–1244.
16. Бондур В.Г., Чимитдоржиев Т.Н. Дистанционное зондирование растительности оптико-микроволновыми методами // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъёмка. 2008. № 6. С. 64–74.
17. Guerschman J.P., Paruelo J.M., Bella C.D. Land cover classification in the Argentine Pampas using multi-temporal Landsat TM data // International Journal of Remote Sensing. 2003. V. 24. P. 3381–3402.
18. Friedl M.A., Melver D.K., Hodges J.C.F., Xiaoyang Z. Global land cover mapping from MODIS: Algorithms and early results // Remote Sensing of Environment. 2002. V. 83. P. 287–302.
19. Егоров В.А., Бартаев С.А., Колбудаев П.А., Плотников Д.Е. Карта растительного покрова России, полученная по данным спутниковой системы Proba-V // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 2. С. 282–286.
20. Природно-экологический каркас территории [Электронный ресурс] <http://terraplan.ru/arhiv/55-1-31-2011/938-630.html> (Дата обращения: 27.02.2018).

References

1. Melnikova E.B. Aerospace monitoring of disturbed agricultural land // Izvestiya VUZov. Geodeziya i aerofotosyemka. 2010. No. 2. P. 75–78 (in Russian).
2. Mirtova I.A. Aerospace topographic monitoring of violations of urban land (for example, Moscow) // Izvestiya VUZov. Geodeziya i aerofotosyemka. 2012. No. 4. P. 58–65 (in Russian).

3. Uchayev D.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*. 2012. No. 4. P. 86–92 (in Russian).
4. Sladkoptev S.A., Kubyshkina K.N. Assessment of the state of the territories of Grozny based on materials of remote sensing of land for the purposes of the urban cadastre // *Izvestiya VUZov. Geodeziya i aerofotosyemka*. 2013. No. 1. P. 64–70 (in Russian).
5. Karkon Varnosfaderani M.M., Kharazmi R.S., Shapovalov D.A., Mitrofanov E.M. Assessment of the accuracy of visual interpretation of vegetation based on vegetation indices (using the example of Zagros, Western Iran) // *Izvestiya VUZov. Geodeziya i aerofotosyemka*. 2016. No. 4. P. 90–93 (in Russian).
6. Majid F., Mohammad M. Dynamics and forecasting of population growth and urban expansion in Srinagar city – a geospatial approach // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2014. V. XL-8. P. 709–716.
7. Arshad A., Shahab F. Quantification of land transformation using remote sensing and GIS techniques // *American Journal of Geographic Information System*. 2012. V. 1. P. 17–28. doi: 10.5923/j.ajgis.20120102.01
8. Seema R. Monitoring land use/land cover response to urban growth of the city of Jalandhar using remote sensing data // *International Journal of Advanced Research*. 2014. V. 2. P. 1122–1129.
9. Morenikeji E., Umaru S., Liman M., Ajagbe A. Application of remote sensing and geographic information system in monitoring the dynamics of land use in Minna, Nigeria // *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*. 2015. V. 5. P. 320–337. doi: 10.6007/IJARBS/v5-i6/1682
10. Rawat J.S., Kumar M. Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhnad, India // *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 2015. V. 18. No. 1. P. 77–84. doi: 10.5958/2455-7129.2017.00019.X
11. Xia Jing, Wan-Qiang Yao, Ji-Hua Wang, Xiao-Yu Song 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. No. 3–4. P. 1079–1085. doi: 10.1016/j.mcm.2010.11.038
12. Zha Y., Gao J. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery // *International Journal of Remote Sensing*. 2003. V. 24 (3). P. 583–594. doi: 10.1080/01431160304987
13. Mirtova I.A., Telyatnikov, V.N. Assessment of the dynamics of green space in Moscow by satellite images // *Izvestiya VUZov. Geodeziya i aerofotosyemka*. 2013. No. 2. P. 75–81 (in Russian).
14. Zverev A.T., Fisenko E.V. Study of the land cover of urban ecosystems based on materials from an unmanned aerial vehicle and high-resolution satellite images // *Izvestiya VUZov. Geodeziya i aerofotosyemka*. 2014. No. 3. P. 52–56 (in Russian).
15. Erol H., Akdeniz F. A per-field classification method based on mixture distribution models and an application to Landsat Thematic Mapper data // *International Journal of Remote Sensing*. 2005. V. 26. P. 1229–1244. doi: 10.1080/014311698216008
16. Bondur V.G., Chimitdorzhiev T.N. Urban ecosystem research on the basis of remote sensing data // *Izvestiya VUZov. Geodeziya i aerofotosyemka*. 2008. No. 6. P. 64–74 (in Russian).
17. Guerschman J.P., Paruelo J.M., Bella C.D., Giallorenz M.C., Pacin F. Land cover classification in the Argentine Pampas using multi-temporal Landsat TM data // *International Journal of Remote Sensing*. 2003. V. 24. P. 3381–3402.
18. Friedl M.A., Melder D.K., Hodges J.C.F., Xiaoyang Z. Global land cover mapping from MODIS: Algorithms and early results // *Remote Sensing of Environment*. 2002. V. 83. P. 287–302. doi: 10.1016/S0034-4257(02)00078-0
19. Egorov V.A., Bartalev S.A., Kolbudayev P.A. Map of vegetation cover of Russia, obtained according to Proba-V satellite system data // *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2018. V. 15. No. 2. P. 282–286 (in Russian).
20. Natural and ecological framework of the territory [Internet resource] <http://terraplan.ru/arhiv/55-1-31-2011/938-630.html> (Accessed: 27.02.2018) (in Russian).