

МЕТОДЫ АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УРБАНИЗАЦИИ И ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В ПЕРИОД С 1975 ПО 2015 г. в г. САМАРЕ

М.С. Бури¹, А.В. Кузнецов^{1,2}, К.К. Чодри¹, А.В. Куприянов^{1,2}

¹ Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет) (СГАУ), Самара, Россия,

² Институт систем обработки изображений РАН, Самара, Россия

Аннотация

В работе авторами используются методы классификации спутниковых изображений для выделения четырёх основных типов землепользования: водные ресурсы, территория застройки, леса и сельскохозяйственные поля. Для исследования пространственно-временной динамики роста города и изменений в землепользовании в районе города Самары были использованы спутниковые снимки Landsat за пять периодов времени с 1975 по 2015 годы. Вычисление изменений площадей всех типов землепользования в различные периоды времени производилось при помощи программного обеспечения ArcGIS с учётом демографических данных. В ходе исследований была получена оценка изменения площади территории застройки в зависимости от роста численности населения.

Ключевые слова: городской рост, землепользование, дистанционное зондирование, анализ изменений, ГИС.

Цитирование: Бури, М.С. Методы анализа спутниковых изображений для исследования урбанизации и землепользования в период с 1975 по 2015 г. в г. Самаре / М.С. Бури, А.В. Кузнецов, К.К. Чодри, А.В. Куприянов // Компьютерная оптика. – 2015. – Т. 39, № 5. – С. 818-822. – DOI: 10.18287/0134-2452-2015-39-5-818-822.

Введение

Городская застройка считается неэффективным путём городского развития из-за высокой плотности размещения построек по сравнению с сельской местностью [1, 2]. Только 3% поверхности Земли покрыты городской застройкой [3], но из-за урбанизации, роста численности населения, экономического развития застройка является основной причиной экологических и социальных проблем в современных городах. Городская застройка сталкивается с отличительными «системными» проблемами, связанными с её уникальными социальными, экологическими и экономическими характеристиками [4]. Среди них наиболее важными являются риски для здоровья, вызванные загрязнением воздуха, дорожно-транспортными происшествиями, пищевыми отравлениями и социальными изменениями [5]. В ряду проблем также присутствует снижение объёма растительности, сельскохозяйственных земель, количества водных ресурсов [6]. Всё это приводит к снижению качества жизни в городской среде.

В развивающихся городах информация о незапланированных постройках часто недоступна, поэтому крайне важно правильно разработать план роста городов, прежде чем вводить определение процесса урбанизации [7, 8].

Для исследования пространственных закономерностей роста города Самары и прилегающих земель за рассматриваемый период времени предлагается подход, заключающийся в систематизации имеющейся информации и отображении всех доступных данных, полученных со спутниковых снимков, на карту местности. Такой способ исследований помогает выявить зоны роста города и определить вред, наносимый окружающей среде и природным ресурсам, а также предложить возможные пути развития города.

Материалы и методы

Для проведения исследований были использованы космические снимки Landsat MSS (мультиспектральный сканер) для получения данных за 1975 год, Landsat TM (тематические карты) – за 1985–1995 годы, Landsat ETM+ (расширенные тематические карты) – за 2005–2015 годы. Цифровая обработка изображений выполнялась при помощи программного обеспечения ArcGIS. Для исследований были выбраны откалиброванные сцены с корректной геометрической привязкой, снятые при схожих условиях (время года, погодные условия). В качестве метода предварительной обработки применялось контрастирование изображения, основанное на выравнивании гистограммы. Также в данной работе были использованы некоторые дополнительные опорные данные: цифровые топографические карты в масштабе 1:50000, которые применялись для геопривязки снимков в целях построения карты землепользования и повышения точности общей получаемой оценки.

После предобработки авторами был применён алгоритм кластеризации для разбиения изображений по четырём основным классам землепользования. На следующем этапе был использован алгоритм классификации на основе метода максимального правдоподобия (ММП) из состава доступных алгоритмов в пакете ArcGIS 10.1.

ММП является одним из наиболее популярных методов классификации, который используется для обработки данных дистанционного зондирования в целях классификации типов земной поверхности. В ряде сложных случаев проводилась ручная корректировка – неправильно классифицированные области исправлялись с помощью специальной функции в ArcGIS.

Для оценки точности классификации были использованы матрица ошибок и метод *Карра*. Для анализа были выделены четыре типа землепользования

на территории исследования: застройка, лес, сельскохозяйственные поля, водные ресурсы.

Для оценки интенсивности темпа роста города (annual urban growth rate, AGR) использовалось следующее выражение:

$$AGR = \frac{UA_{n+i} - UA_i}{nTA_{n+i}} \cdot 100\% , \quad (1)$$

где nTA_{n+i} – общая площадь исследуемой области в момент времени $n+i$, UA_{n+i} и UA_i – площадь жилой застройки в моменты времени $n+i$ и i соответственно,

а n – временной интервал (в годах), за который проводились вычисления.

Результаты

Точность оценки площади землепользования составляет более 90 % для всех обработанных изображений. Эти данные показывают (рис. 1), что в 2015 году более 31,38 % (616,14 км²) Самарской области были покрыты лесом, 36,85 % (723,49 км²) – полями, 8,30 % (162,91 км²) – водоёмами и 23,47 % (460,87 км²) – постройками.

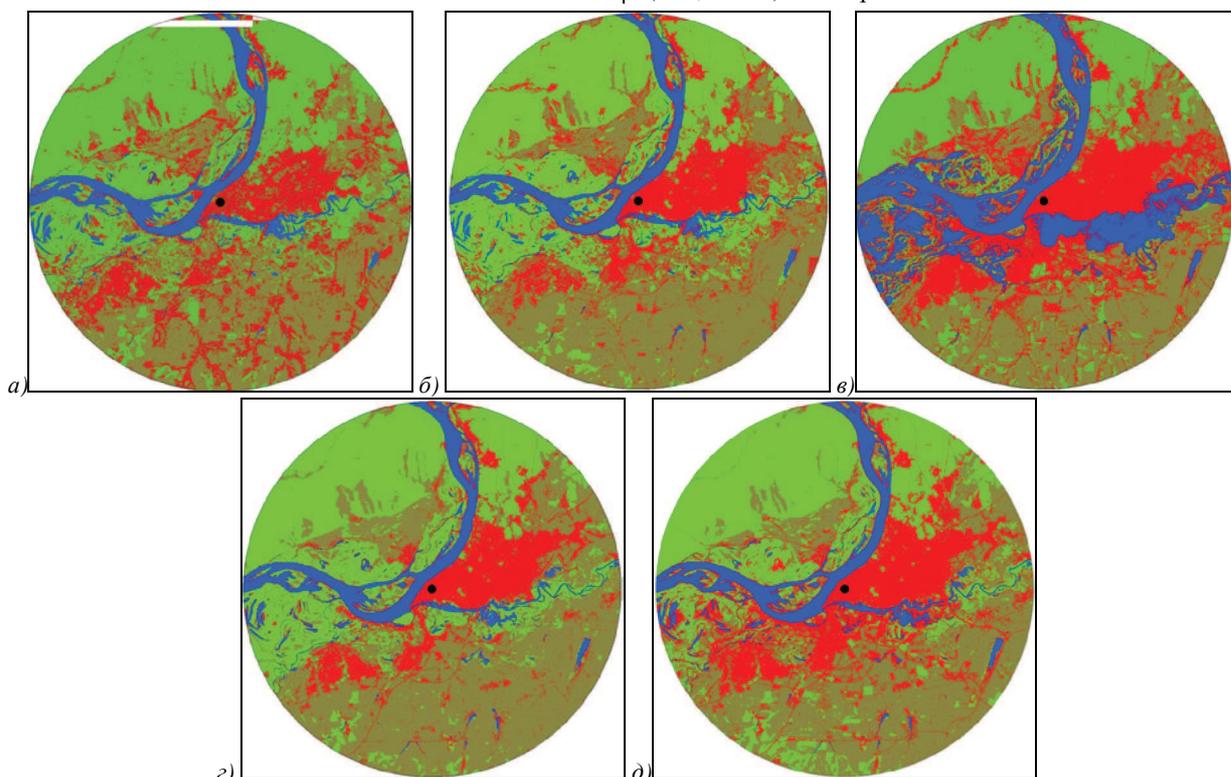


Рис. 1. Землепользование и результаты классификации территории города Самары в 1975 (а), 1985 (б), 1995 (в), 2005 (г) и 2015 (д) г.г. Застройка – красный, лес – зелёный, сельскохозяйственные поля – болотный, водные ресурсы – синий

В 1975 году площади по этим категориям земель были следующие: около 31,81 % (624,56 км²) были заняты лесом, 44,03 % (864,50 км²) – полями, 7,17 % (140,85 км²) – водоёмами и 16,99 % (333,50 км²) – постройками (табл. 1).

Табл. 1. Площадь землепользования в км²

	Застр.	Лес	Поля	Водн. рес.
1975	334	865	625	141
1985	336	793	674	160
1995	529	629	463	343
2005	280	929	601	153
2015	461	723	616	163

Первый рост площади застройки был отмечен до 1995 года, затем последовало уменьшение, но позже снова территория стала расти ввиду демографического роста. Анализируя площадь леса, следует отметить, что первоначально она уменьшалась, а затем был отмечен рост в связи с началом активной охраны

природных ресурсов государством. Самым большим по площади типом землепользования является класс сельскохозяйственных полей – рост площади отмечается вплоть до 2005 года, но на данный момент приостановился. Класс водных ресурсов стабилен, и за период исследования отмечено лишь небольшое изменение.

Данные, содержащие изменения во времени по результатам классификации, также представлены в табл. 2 и на рис. 1. Площадь застройки занимала 333,5 км² в 1975 году и 336,59 км² в 1985 году, в то время как поля располагались на площади 792 км² в 1985 и 629,68 км² в 1995 году. 383,83 км² лесного фонда в 1995 году сохранились и в 2005 году.

В табл. 2 представлен анализ изменений землепользования, произошедших в ходе урбанизации города Самары. Значения, находящиеся на пересечении разных типов землепользования, соответствуют площади земли, перешедшей из одного типа в другой за этот промежуток времени.

Табл. 2. Изменение землепользования с 1975 по 2015 г

2005–2015					
КЛАСС	Застр.	Лес	Поля	Водн.	Всего
Застр.	245,14	5,00	18,41	10,32	278,87
Лес	60,50	496,84	42,42	0,32	600,08
Поля	149,10	115,29	662,95	4,16	931,49
Водн.	5,56	0,40	0,00	146,78	152,74
Всего	460,30	617,53	723,77	161,58	1963,19
1995–2005					
КЛАСС	Застр.	Лес	Поля	Водн.	Всего
Застр.	216,68	88,07	224,33	1,16	530,25
Лес	4,36	383,83	74,63	0,04	462,86
Поля	26,17	51,46	551,93	0,20	629,76
Водн.	31,49	76,83	80,71	151,34	340,37
Всего	278,71	600,19	931,60	152,74	1963,24
1985–1995					
КЛАСС	Застр.	Лес	Поля	Водн.	Всего
Застр.	227,05	15,53	52,54	42,26	337,37
Лес	114,36	385,95	62,90	111,00	674,22
Поля	187,79	61,34	514,24	29,13	792,51
Водн.	1,04	0,04	0,00	157,98	159,06
Всего	530,25	462,86	629,68	340,37	1963,16
1975–1985					
КЛАСС	Застр.	Лес	Поля	Водн.	Всего
Застр.	151,21	20,51	157,05	4,28	333,05
Лес	31,93	526,99	60,97	4,66	624,55
Поля	145,54	120,89	573,31	24,87	864,60
Водн.	7,92	4,89	0,92	127,14	140,87
Всего	336,59	673,28	792,25	160,95	1963,07

С 2005 по 2015 годы 149,10 км² полей и 60,50 км² лесов были подвержены застройке. За тот же период 115,29 км² полей были переведены в лесную зону.

В течение последних четырёх десятилетий площадь сельскохозяйственных полей снижалась с 864,50 км² в 1975 году до 723,49 км² в 2015 году, что соответствует уменьшению на 19,49 % от площади данного класса в 2015 г. Площадь леса незначительно снизилась с 624,56 км² в 1975 году до 616,14 км² в 2015 году, что соответствует снижению на 1,36 % от площади леса в 2015 г. Площадь территории застройки увеличилась с 333,50 км² в 1975 году до 460,87 км² в 2015, что в среднем составляет 0,69 км²/год или 27,63 % от площади данного вида территории в 2015 г. Площадь водных ресурсов выросла со 140,85 км² в 1975 году до 162,91 км² в 2015 году. Это изменение соответствует 13,54 % от площади водных ресурсов 2015 г.

В табл. 3 показано относительное изменение в площади землепользования с 1975 по 2015 годы. Значения, находящиеся на пересечении разных типов землепользования, соответствуют отношению площади земли, перешедшей из одного типа в другой за этот промежуток времени, к общей площади земли данного типа.

Заключение и выводы

Данная исследовательская работа была направлена на изучение и анализ роста города Самары и его прилегающих территорий с использованием данных дистанционного зондирования и статистических данных. Предложенный в работе подход позволяет провести мониторинг динамики некоторых изменений, вызванных процессом урбанизации. Возможно, рост

города Самары обусловлен наличием рек Самара и Волга, а также социальными факторами, такими как демографический рост, миграция населения и развитие экономики. Преобразование земель из сельскохозяйственных полей в территории застройки является относительно недавним процессом. Основным типом землепользования остаются именно сельскохозяйственные поля. Площадь под ними снизилась на 7,66 % (149,43 км²) за счёт увеличения леса с 1975 по 2015 г. Вторым крупным классом землепользования является территория застройки, которая выросла на 6,48 % (127,37 км²) за счёт территорий леса и сельскохозяйственных полей.

Табл. 3. Относительное изменение землепользования с 1975 по 2015 г.

Изменения за периоды, %	Застр.	Лес	Поля	Водн.
1975 – 1985	1,05	7,23	-9,13	12,47
1985 – 1995	36,37	-45,66	-25,85	53,26
1995 – 2005	-90,25	22,88	32,40	-122,84
2005 – 2015	39,14	2,82	-28,69	5,47

Таким образом, данное исследование показывает, что дистанционное зондирование и ГИС являются важными технологиями пространственно-временного анализа и могут успешно применяться в качестве средств количественной оценки происходящих территориальных изменений, которые крайне трудоёмко провести при помощи наземных методов исследования.

Благодарности

Работа выполнена за счёт гранта Российского научного фонда (проект №14-31-00014).

Литература

1. **Altieri, L.** Urban sprawl scatterplots for Urban Morphological Zones data / L. Altieri, D. Cocchi, P. Giovanna, M. Scott, M. Ventrucci // *Ecological Indicators*. – 2014. – Vol. 36(1). – P. 315-323.
2. **Boori, M.S.** Land use/cover disturbances due to tourism in Jeseniky Mountain, Czech Republic: A remote sensing and GIS based approach / M.S. Boori, V. Vozenilek, K. Choudhary // *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. – 2015. – Vol. 18(1). – P. 17-26.
3. **Gill, S.E.** Characterizing the urban environment of UK cities and towns: a template for landscape planning / S.E. Gill, J.F. Handley, E.A. Roland, S. Pauleit, N. Theuray, S.J. Lindley // *Landscape and Urban Planning*. – 2008. – Vol. 87(3). – P. 210-222.
4. **Boori, M.S.** Global Land Cover classification based on microwave polarization and gradient ratio (MPGR) / M.S. Boori, R.R. Ferraro // *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. – 2015. – Vol. 214. – P. 17-37.
5. **Li, X.** Urban sustainability and human health in China, East Asia and Southeast Asia / X. Li, J. Liu, V. Gibson, Y.G. Zhu // *Current Opinion in Environmental Sustainability*. – 2012. – Vol. 4(4). – P. 436-442.
6. **Boori, M.S.** Land-cover disturbances due to tourism in Czech Republic / M.S. Boori, V. Vozenilek, J. Burian // *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer International Publishing Switzerland. – 2014. – Vol. 303. – P. 63-72.
7. **Xu, X.** Quantifying spatiotemporal patterns of urban expansion in China using remote sensing data / X. Xu, X. Min // *Cities*. – 2013. – Vol. 35. – P. 104-113.

8. **Boori, M.S.** Land-cover disturbances due to tourism in Jeseniky mountain region: A remote sensing and GIS based approach. / M.S. Boori, V. Vozenilek // Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. – 2014. – Vol. 9245. – P. 1-11.

References

- [1] Altieri L, Cocchi D, Giovanna P, Scott M, Ventrucci M. Urban sprawl scatterplots for Urban Morphological Zones data. *Ecological Indicators* 2014; 36(1): 315-23.
- [2] Boori MS, Vozenilek V, Choudhary K. Land use/cover disturbances due to tourism in Jeseniky Mountain, Czech Republic: A remote sensing and GIS based approach. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 2015; 18(1): 17-26.
- [3] Gill SE, Handley JF, Roland EA, Pauleit S, Theuray N, Lindley SJ. Characterizing the urban environment of UK cities and towns: a template for landscape planning. *Landscape and Urban Planning* 2008; 87(3): 210-22.
- [4] Boori MS, Ferraro RR. Global Land Cover classification based on microwave polarization and gradient ratio (MPGR). *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography* 2015; 214: 17-37.
- [5] Li X, Liu J, Gibson V, Zhu YG. Urban sustainability and human health in China, East Asia and Southeast Asia. *Environ Sustainability* 2012; 4(4): 436-42.
- [6] Boori MS, Vozenilek V, Burian J. Land-cover disturbances due to tourism in Czech Republic. *Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer International Publishing Switzerland* 2014; 303: 63-72.
- [7] Xu X, Min X. Quantifying spatiotemporal patterns of urban expansion in China using remote sensing data. *Cities* 2013; 35: 104-13.
- [8] Boori MS, Vozenilek V. Land-cover disturbances due to tourism in Jeseniky mountain region: A remote sensing and GIS based approach. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering* 2014; 9245: 1-11.

SATELLITE IMAGE ANALYSIS TO EVALUATE THE URBAN GROWTH AND LAND USE CHANGES IN THE CITY OF SAMARA FROM 1975 TO 2015

M.S. Boori¹, A.V. Kuznetsov^{1,2}, K.K. Choudhary¹, A.V. Kupriyanov^{1,2}

¹ Samara State Aerospace University, Samara, Russia,

² Image Processing Systems Institute, Samara, Russia

Abstract

In the present paper, satellite image classification methods were applied to extract four main types of land use: water resources, built-up areas, forests and agricultural land. To evaluate in which way the urban growth and land use changes occurred in the city of Samara, Landsat satellite images taken at five different time periods over the years 1975-2015 were employed. Changes in all types of land use at different periods of time were calculated using the ArcGIS Software with due regard for population changes. The estimation of changes in the built-up area was conducted in relation to the population development.

Keywords: urban growth, land use/cover, remote sensing, change detection analysis, GIS.

Citation: Boori MS, Kuznetsov AV, Choudhary KK, Kupriyanov AV. Satellite image analysis to evaluate the urban growth and land use changes in the city of Samara from 1975 to 2015. *Computer optics*; 39(5): 818-22. DOI: 10.18287/0134-2452-2015-39-5-818-822.

Acknowledgements: The work was financially supported by the Russian Scientific Foundation (RSF), grant No. 14-31-00014.

Сведения об авторах

Бури Мукеш Сингх. В 2002 получил степень бакалавра в Университете Раджастана, Джайпур, Индия. Затем учился в Университете Ахмера, Индия, где получил степень магистра. Защита PhD на тему «Оценка воздействия на окружающую среду и управление природными ресурсами» состоялась в Федеральном Университете Рио Гранде до Норте, Бразилия в 2011 году. В сферу его научных интересов входят данные дистанционного зондирования и ГИС, оценка рисков, цифровая обработка изображений, термальное и микроволновое дистанционное зондирования и др. Он ведёт несколько курсов для студентов и аспирантов, среди которых следующие: GIS300: Моделирование окружающей среды, GIS315: Дистанционное зондирование окружающей среды, GIS515: Геопространственные данные. Список его публикаций включает 47 рецензированных статей. Он выступал на 31 конференции и был приглашён с пленарным докладом на 21 симпозиум.

E-mail: msboori@gmail.com.

Mukesh Singh Boori received Bachelor's Degree (2002) at University of Rajasthan, Jaipur, India. Then, he studied at M.D.S. University Ajmer, India for Master of Science Degree. Defended his PhD thesis "Environmental Impact Assessment and Management of Natural Resources" at Federal University-RN (UFRN), Natal –RN, Brazil in 2011. His research interests include remote sensing and GIS, vulnerability and risk assessment, digital image processing, thermal and microwave remote sensing, etc. Currently, he is teaching several courses to graduate and postgraduate students, including GIS300: Environmental Modeling, GIS315: Remote Sensing of the Environment, GIS515: Geospatial Data. His list of publications include 47 peer reviewed articles. He also made 31 conference presentations and had 21 invited talks at different symposiums.

Кузнецов Андрей Владимирович, родился в 1987 году. В 2010 году окончил Самарский государственный аэрокосмический университет (СГАУ) с отличием по специальности «Прикладная математика и информатика». В 2010 поступил в аспирантуру СГАУ, в 2013 г. защитил диссертацию на соискание степени кандидата технических наук. В настоящее время работает старшим научным сотрудником НИЛ-97 СГАУ, а также научным сотрудником в Институте систем обработки изображений РАН. Круг научных интересов включает обработку и анализ изображений, обнаружение локальных изменений на изображениях, распознавание образов, геоинформатику. Имеет 35 публикаций, в том числе 12 научных статей.

E-mail: kuznetsoff.andrey@gmail.com.

Andrey Vladimirovich Kuznetsov (b. 1987) graduated with honors (2010) from S. P. Korolyov Samara State Aerospace University (SSAU), majoring in Applied Mathematics and Informatics. He took a post-graduate course at SSAU in 2010 and received his Candidate of Sciences degree in Engineering in 2013. He is currently a senior researcher at Lab-97 of SSAU and a researcher at the Image Processing Systems Institute of the Russian Academy of Sciences (IPSI RAS). His research interests currently focus on image processing and analysis, local image changes detection, pattern recognition, geoinformatics. He has 35 publications, including 12 scientific papers.

Чодри Комаль Кумари получила степень бакалавра и магистра географии в Университете Раджастана (Индия) в 2003 и 2005 годах соответственно. Она окончила бакалавриат по направлению педагогические науки в 2007 году в Университете Раджастана (Индия). Комаль Кумари имеет более 15 международных публикаций, включая книги по восприимчивости, оценке рисков и изменению климата. Основными её научными интересами являются исследования устойчивого развития с использованием многокритериального подхода.

E-mail: komal.kc06@gmail.com.

Komal Choudhary has completed her Bachelor's and Master's degrees in Geography from the University of Rajasthan, India in 2003 and 2005, respectively. She also completed Bachelor's degree of Education in 2007 from the University of Rajasthan, India. She has more than 15 international publications including Books on Vulnerability, Risk Assessment and Climate Change. Her prime research interest is "Sustainable Development Studies Through Multi-Criteria Approach". She has to her credit an illustrious experience in teaching and other administrative responsibilities spanning over a decade and has served in various capacities like Principal, Faculty Development and Controller of Examinations. Komal brings with herself a vast experience in curriculum design, research guidance and innovative teaching.

*Сведения об авторе **Куприянов Александр Викторович** см. стр.794 этого номера.*

*Поступила в редакцию 27 октября 2015 г.
Окончательный вариант – 30 ноября 2015 г.*