

DOI: 10.12737/article_5c506230c1b058.24738025

¹Аль-Савафи М.Х., ¹Перькова М.В., ^{1,*}Аль-Джабери А.А.Х.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: Abokharima@gmail.com

ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ В ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИИ ТЕРРИТОРИИ Г. БЕЛГОРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ГИС МЕТОДОВ

Аннотация. Исследования в области землепользования и земной поверхности в значительной степени необходимы для целого ряда тем и вопросов. Устойчивое развитие во многом зависит от контроля за последствиями изменений. Это исследование обсуждается в Белгородской области Российской Федерации. Факторы, которые были изучены и выделены, - это застроенные районы, растительность и зеленый навес, водоемы и оголенные участки почвы. Изменения произошли в период с 1975 по 1992 год и с 1992 года по 2017 год, соответственно. Данные были получены из архива сбора данных USGS и EOS Land Viewer. Точность смоделированных изменений ограничена радиометрическими разрешениями. Полученные результаты показали динамику освоения городского пространства, поскольку каждый рассматриваемый период имеет свое направление роста. Метод классификации, который использовался в сравнительном исследовании — нейронная сеть. Результатами данного исследования являются три тематические карты Белгорода, которые отражают плотность застройки, озеленение и обводнение территории.

Ключевые слова: землепользование, земная поверхность, геоматика, ГИС, дистанционное зондирование.

Введение. Землепользование и земная поверхность – два отдельных термина, которые часто используются взаимозаменяемо. Земной поверхностью называют физические характеристики поверхности земли. Это распределение водоемов, растительности, почвы и горных пород и другие особенности, которые занимают пространство земли [1]. Это определение включает действия и последствия человеческой деятельности и стихийных бедствий. Землепользование - это понятие, связанное с использованием земли, а также законами, кодексами, стандартами и моделями развития правительственных и неправительственных организаций использующиеся в экономических целях [2]. Природные и социально-экономические факторы во времени и пространстве изменяют структуру природопользования. Возрастающие требования к управлению территорией вынуждают прийти к оптимальному использованию ресурсов путем планирования и реализации деятельности по землепользованию земной поверхности. Устойчивый рост населения во всем мире требует мониторинга динамики землепользования и земной поверхности и их качества, количества и направления их роста. Изменения и преобразование землепользования и земной поверхности не обязательно приводят к деградации земли [3]. Однако активная народнохозяйственная деятельность человека в той или иной степени влияет на климат и биосферу (биоразнообразие, водные объекты, радиационный фон, уровень парниковых газов) [4]. Чтобы лучше понять динамику формирования культур-

ного ландшафта в разные периоды, важно провести исследования с использованием дистанционного зондирования и ГИС методов, которые позволят проследить изменения в плотности застройки, озеленения и обводнение территории с целью поддержания устойчивого управления природными ресурсами. Широкий ускоряющийся процесс изменений, который обычно имеет право на изменение в землепользовании и земной поверхности, обычно происходит и вызван явлениями природы и антропогенной деятельностью. Следовательно, эти явления и действия могут вырвать устойчивость или неустойчивость экосистемы [5, 6]. Правильная реализация и моделирование изменений и взаимодействия между явлениями природы и деятельностью человека жизненно важны для лиц, принимающих решения. Результаты этих видов исследований играют роль инструмента планирования возможного роста городов, а также определяют его направление, качество, количество и интервалы [7]. За последние три десятилетия спутники земных ресурсов и данные о воздушно-десантных полетах были весьма полезны и применимы для изучения изменений землепользования и земной поверхности. Однако точность результатов почти полностью зависит от качества полученных данных [8, 9]. Изобретения и применения методов дистанционного зондирования и ГИС имеют широкий спектр подробных методов улучшения сфер для сельского городского и / или промышленного хозяйства [10]. Данные дистанционного зондирования и применение ГИС сде-

лали возможным изучение изменений в землепользовании и земной поверхности с меньшим количеством времени, рабочей силы и стоимости. Кроме того, широкая перспектива данных дистанционного зондирования позволила достичь почти любой точки земного шара. Данные дистанционного зондирования предпочтительны для использования с помощью ГИС, которая предоставляет подходящие платформы для анализа, хранения, визуализации и извлечения данных. Передовые методы обработки изображений, спутниковые снимки с высоким пространственным разрешением и технологии ГИС разработали довольно эффективные подходы и устойчивый мониторинг, а также моделирование моделей землепользования и земной поверхности. Огромная библиотека данных дистанционного зондирования, накопленная за эти годы и ежедневно пополняемая база данных по дистанционному зондированию, сделала ее необходимым инструментом в картографии и моделировании [11]. В течение последних трех десятилетий снимки серии Landsat представляли собой ценный и непрерывающийся процесс записи данных, охватывающий почти всю земную поверхность [12]. Кроме того, большая часть архивов серии Landsat доступна для научных целей бесплатно. Это изобилие архивов данных дистанционного зондирования представляет собой обширную информацию, которая может быть использована для выявления и мониторинга изменений как в искусственной, так и в естественной среде [13]. Предварительная обработка - очень важный и решающий шаг, который необходимо выполнить тщательно, чтобы получить результаты с менее систематическими или несистематическими ошибками. Выбор данных, совместная регистрация, атмосферная и радиометрическая калибровка являются основными этапами предварительной обработки для выполнения классификации и анализа обнаружения изменений [8, 10, 14].

Основная часть. Многие ученые разных стран обсуждали обнаруженные изменения в землепользовании как результат анализа данных дистанционного зондирования [15-19]. Е. Ламбин предложил основу для общего понимания землепользования и земной поверхности и подчеркнул сложность изменений, уделяя особое внимание тропическим регионам [20]. В упомянутом исследовании были изучены изменения в городских районах, пахотных землях, сельскохозяйственных угодьях, тропическом обезлесении и определены изменения неизменных изменений земной поверхности. Методами, предложенными Д. Сивко, являются нейронная сеть, кросс-

корреляционный анализ, традиционная классификация, сегментация изображений и объектно-ориентированная классификация как экспертная система [21]. Было отмечено, что каждый из пяти методов имеет свои достоинства и свойства, но не может быть рассмотрен как лучший. Метод классификации нейронной сети при дистанционном зондировании рассматривается как один из наиболее подходящих методов классификации данных дистанционного зондирования из-за того, что аналитические задачи необработанных данных чрезвычайно минимизированы [22]. Тем не менее, во многом зависит от того, как данные обучения и области интереса были загружены на компьютер, и насколько точны были методы предварительной обработки, которые были выполнены, особенно ручные методы. Одним из факторов, которые влияют на точность результатов, являются также части пикселей, которые могут нести два типа классов. Пиксели зависят от пространственного, радиометрического и спектрального разрешения [2]. Кроме того, состояние данных, дата их рассмотрения (например, время года) и атмосферные барьеры (например, облачность) могут либо снизить, либо повысить разрешение результатов [2]. Метод классификации нейронной сети Д. Сивко был использован для получения классификации трех разных дат, которые представляют 1975, 1992 и 2017 годы. И нормализованный индекс растительности был рассчитан для каждой даты, чтобы помочь в оценке классификаций. ESRI ENVI и ArcMap были использованы для предварительной обработки, обработки и последующей обработки данных и для получения окончательных результатов.

В данном исследовании авторами предполагается изучение изменений в землепользовании территории г. Белгорода с использованием дистанционного зондирования и ГИС методов.

Белгород - город в Белгородской области Российской Федерации, расположенный на юго-западе Российской Федерации в 40 км от российско-украинской границы. Площадь города Белгорода составляет 153 км². Белгород - столица и административный центр Белгородской области. Река Северский Донец и ее правый приток Ворскла разделяют город на части, не являются судоходными. Население г. Белгорода по официальным данным в 2012 году составляло 369 815 человек [23]. Географические координаты Белгорода расположены 50 ° 35'N и 36 ° 35 'в пределах 38N зоны UTM. Рельеф города можно отметить на рис. 1, который представляет собой цифровую модель высотной шкалы Белгородской области. Самая высокая отметка - 223 м над уровнем моря, а холмистые районы расположены на севере и юго-западе города. Очевидно, что самая высокая

точка, как видно из цифровой модели рельефа, расположена к северу от города. В то время как самая низкая отметка, которая составляет 107 над

уровнем моря, можно увидеть в середине и востоке города. Эта цифровая модель рельефа может дать очевидное указание на эрозию, которая сделала Белгород долиной.

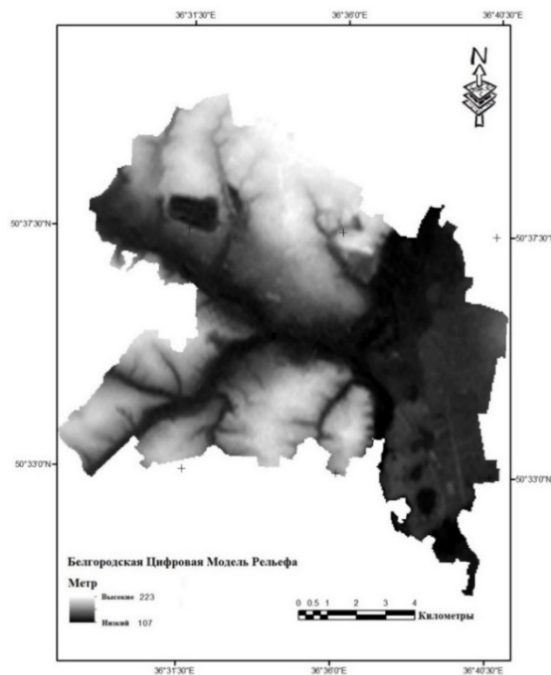


Рис. 1. Цифровая модель рельефа г. Белгорода

Согласно географическому положению Белгорода (рис. 2) климат можно классифицировать как влажный континентальный по климатической классификации Кёппен [24]. Климат этого типа климатического класса состоит в том, что он имеет 4 сезона с холодной зимой, которые могут достигать ниже -15 градусов, и жаркое лето (выше $+40$ градусов).

Подготовка базы данных. Landsat Multi-spectral scanner system MSS, Landsat Thematic Mapper TM и Landsat 8 Operational Land Imager OLI были ресурсами данных для создания базы данных. Пространственное разрешение датчиков Landsat TM 1975 года составляло 60 м, а Landsat TM 1992 года и Landsat8-OLI 2017 года - всего 30 метров. Данные были загружены из архива изображений Геологическая служба США. Наборы данных были импортированы в IDL ENVI 8.4, чтобы начать предварительную обработку данных. Фальшивая композиция цвета FCC была сделана для предварительного просмотра набора данных и определения областей интереса, которые будут использоваться для руководства классификацией. В случае Landsat8-OLI был создан стек слоев, способный генерировать FCC. Подстановка данных была выполнена для извлечения исследуемой области из всех изображений, взяв географическую границу границы Белгорода как область интересов

АОИ. Спектральные показатели растительности, такие как нормализованный разностный индекс растительности NDVI, широко применяются в качестве числового показателя для кросс-сравнительного анализа. NDVI может предоставить подробное представление о озелененных территориях и их качестве.

Низкая чувствительность к неопределенности в коррекции атмосферы и разнообразие в спутниковом просмотре – это преимущества внедрения индексов растительности в качестве прокси-переменных для взаимной калибровки среди других существующих датчиков [2]. Кроме того, видимые спектральные каналы, которые являются синими, зелеными и красными полосами RGB, обычно приводят к некоторой степени спектральных разностных эффектов SBDE. Эти эффекты обычно формулируются с индексами растительности, построенными с видимыми полосами [25]. Вонг указал, что SBDE часто обусловлен взаимодействием между спектральной зависимостью пропускания атмосферного газа и профилями спектрального отклика датчиков. NDVI получен из красных и ближнеинфракрасных диапазонов NIR, уравнение 1, приводит к некоторому SBDE, который должен быть рассмотрен.

$$NDVI = \frac{NIR-Red}{NIR+Red} \dots \dots \dots (1)$$

Атмосферная коррекция проводилась с использованием метода темновой кадр (Dark Object Subtraction - DOS). Этот метод позволяет пользователям выбирать относительную модель атмосферного рассеяния для прогнозирования значений мглы (haze) для всех спектральных полос и применить калибровку. Метод DOS нормализует предсказанные значения мглы (haze) для разных параметров усиления и смещения

для каждого исследуемого набора данных. Классификация нейронной сети была реализована в методологии этого исследования, как показано на рис. 3. Нейронные сети предлагают классифицировать данные на основе быстрого соответствия общим шаблонам с использованием ранее рассчитанных весовых коэффициентов. Нейронная сеть использует поэтапные сравнения, включающие алгоритмическую логику, применяемую к отдельным значениям данных [22].

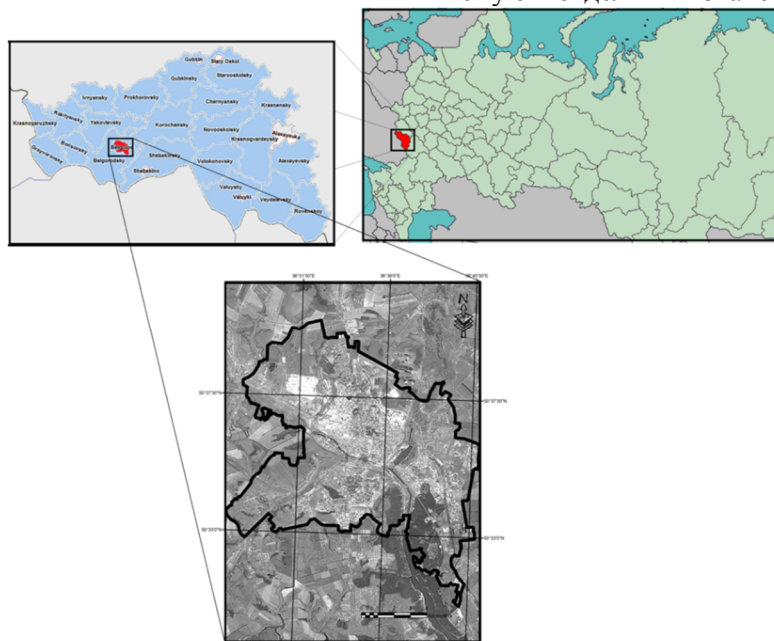


Рис. 2. Местоположение г. Белгорода

Обнаружение и анализ вариантов землепользования и земной поверхности. Для завершения классификации землепользования и покрытия в программном обеспечении IDL ENVI 8.4 используемый метод контролируемой классификации - нейронная сеть. Как уже упоминалось ранее, Neural Network является одним из самых популярных методов классификации, используемых с данными дистанционного зондирования. Сущность этого метода заключается в том, что он зависит не только от вероятности того, что пиксель принадлежит определенному классу, но и то, что он будет рассматривать каждую отдельную запись, сравнивая ее со всем набором. Основная теория предполагает, что эти вероятности сбалансированы для всех классов и что полосы ввода данных имеют нормальные распределения. Тем не менее, этот метод требует длительных вычислений в зависимости от размера данных и в значительной степени зависит от нормального распределения данных в каждом диапазоне ввода. [22]. Кроме того, он имеет тенденцию к чрезмерной классификации сигнатур с относительно большими значениями в ковариационной матрице (Covariance matrix).

Результаты и обсуждения. Результаты, полученные для разновременных спутниковых

изображений 1975, 1992 и 2017 годов, содержат информацию о урбанизации и развитии территории города Белгород. Этапы развития территории, которые прошли в Белгороде в течение 42 лет, показывают, что процессы освоения территории, управление ресурсами и городским планированием имеют относительно правильный вектор. Особенно это наглядно представлено в плане озеленения территории. По данным Всемирного экономического форума [26], самый высокий процент озеленения города в мире составляет 25,9 % в Ванкувере, Канада. Город Белгород имеет 21 % озеленения в 2017 году, 9 % в 1992 году и 12 % в 1975 году. Количество зеленых насаждений города между 1975 и 1992 годами, сильно ухудшилось из-за обезлесения, произошедшего за этот период (рис.4). Тем не менее, при сравнении между 1992 и 2017 годами отчетливо виден скачок в размерах зоны зеленых насаждений или высоких здоровых районов NDVI.

В целом, существует 5 классов землепользования земной поверхности: застроенная территория, высокая растительность (деревья в парках, скверах, бульварах, лесополосы), водоемы, низкая растительность, кустарники и мелкие растения и, наконец, почва. Классификация

1975 года, как видно из рис. 6 и таблицы 1, имеет 24 % площади города как застроенных территорий, 12 % лесов, 3 % водных объектов, 48 % кустарников и 13 % голых почв. В классификации 1992 года процентные показатели значительно отличаются. В процентах было 54 % территории города, 9 % лесов, 1 % водных объектов, 25% кустарников, % и 11 % голых почв. В классификации 2017 года цифры довольно облегчаются в смысле озеленения города. Процентное соотношение составляло 55 % общей площади – это застроенная, 21 % лесов, 1 % водных объектов, 19 % кустарников и только 4 % в виде голого грунта. Очевидно, что площадь застроенного в Белгороде района не изменилась в отношении 25-летнего периода. Возможное объяснение состоит в том, что обучение компьютера с использованием ROI может быть немного сложным с этим уровнем разрешений. Поскольку трудно провести компьютерную дифференциацию между аналогичными объектами, например, между жилыми комплексами и группой микроавтобусов или небольших деревень, возможно, что существует смешение между различными объектами классификации. И это связано с относительно низким пространственным и радиометрическим разрешением данных.

Заключение. Основные выводы. Спутниковое дистанционное зондирование с возможностью повторного и синоптического наблюдения, а также многоспектральные возможности являются мощным инструментом для картирования и мониторинга экологических изменений городской среды, которые могут прогнозировать разрастание городов и связанные с этим проблемы природного каркаса и биоразнообразия. В данном исследовании в программном обеспечении IDL ENVI 8.4 реализован метод нейросетевой классификации. Как уже упоминалось ранее,

нейронная сеть является одним из наиболее популярных методов классификации изображений, полученных с помощью дистанционного зондирования. Результаты, которые были получены по данным 1975, 1992 и 2017 годов, имеют достаточно интересную информацию о развитии города Белгорода. Этапы, которые город Белгород прошел за 42 года, являются примером относительно правильного управления ресурсами и развития города.



Рис. 3. Схема обработки полученных данных

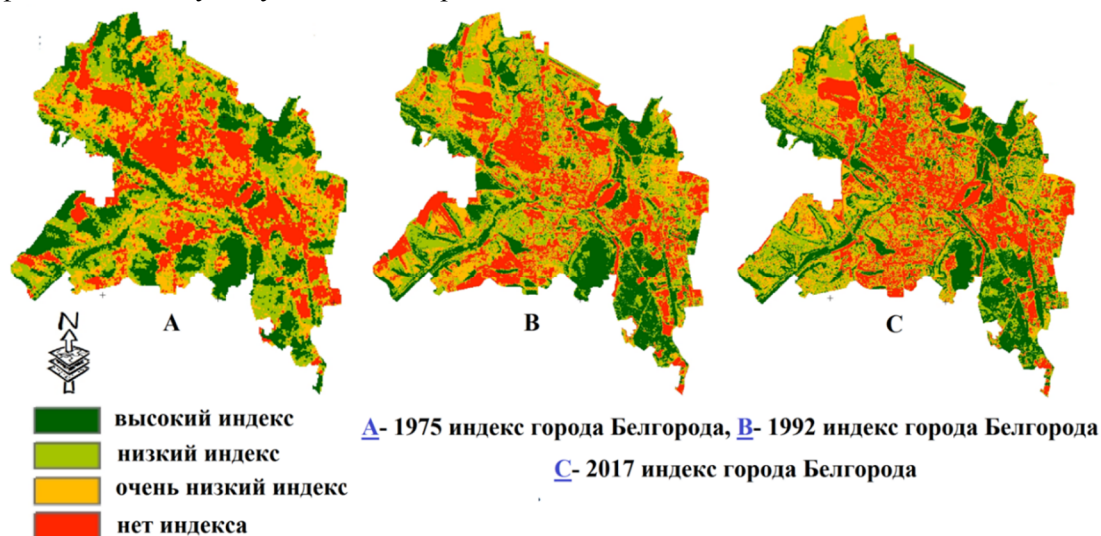


Рис. 4. Нормализованного индекса растительности

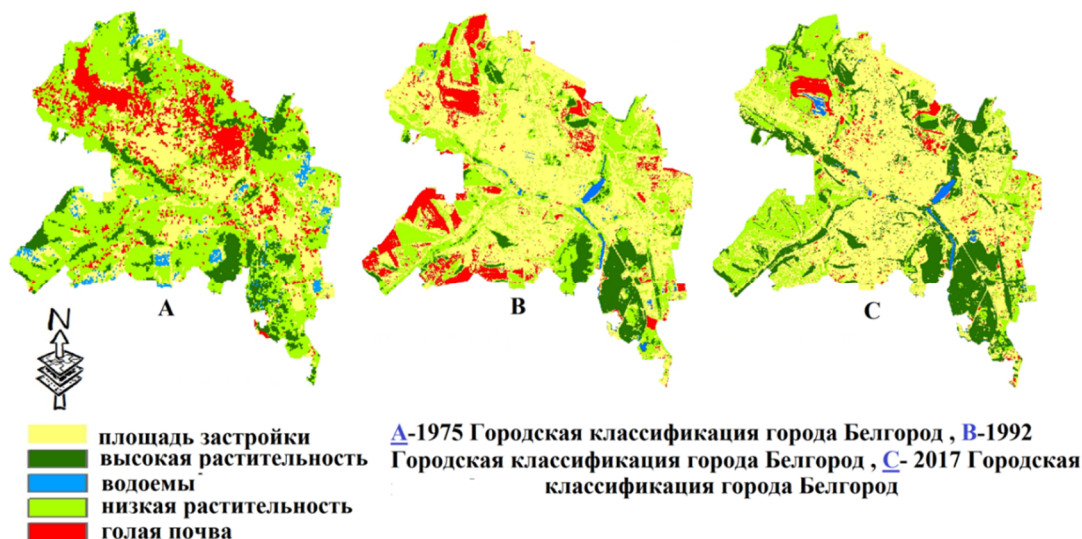


Рис. 5. Классификация территории по землепользования

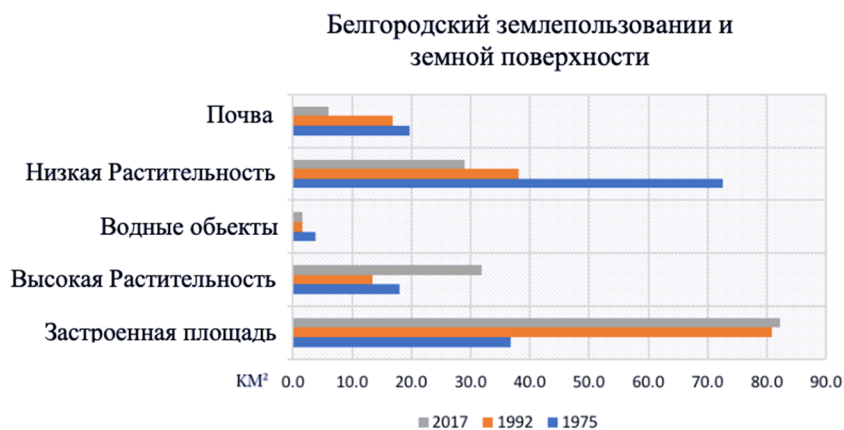


Рис. 6. Диаграмма результатов

Таблица 1

Виды землепользования и их процентное соотношение по годам

Факторы	1975	1992	2017
Застроенная площадь	36.7 Km ²	80.8 Km ²	82.2 Km ²
Высокая Растительность	18.1 Km ²	13.4 Km ²	31.9 Km ²
Водные объекты	3.9 Km ²	1.6 Km ²	1.6 Km ²
Низкая Растительность	72.6 Km ²	38.1 Km ²	29.0 Km ²
Почва	19.7 Km ²	16.9 Km ²	6.0 Km ²

Исследования землепользования и земной поверхности с помощью метода дистанционного зондирования могут обеспечить достаточно полную картину, наглядно демонстрирующую процессы землепользования городской среды. Такие исследования очень важны для лиц, принимающих решения для возможности моделирования и оптимизации процессов землепользования, создания качественной городской среды и поддержания экологического равновесия. Однако для таких исследований требуются данные с высоким разрешением или эффективное разрешение в некоторой степени. В

связи с тем, что при дистанционном зондировании данные имеют четыре типа разрешения, которые являются пространственными, радиометрическими, спектральными и временными. Если пространственное разрешение данных изображений составляет 60 м, это означает, что любой объект размером менее 60 м не будет правильно смоделирован или вообще не будет смоделирован. Одна из проблем, с которыми столкнулись в этом исследовании, заключается в том, что изображение Landsat MSS 1975 года имеет пространственное разрешение 60 м, но в некоторых

районах основная река в Белгороде имеет ширину, менее чем 60 м, это означает, что река не смоделирована в водоемы. Это ожидаемые неточности (погрешности), поэтому следует ограничивать вход данных, чтобы не получить нереалистичные результаты. Временное, радиометрическое и спектральное разрешение также должно соответствовать основным целям исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Dimiyati M., et al., An analysis of land use/cover change in Indonesia // *International Journal of Remote Sensing*, 1996. 17(5): p. 931–944.
2. Canty, M.J., Image analysis, classification and change detection in remote sensing: with algorithms for ENVI/IDL and Python. 2014: Crc Press.
3. Hobbs R.J., Harris J.A. Restoration ecology: repairing the earth's ecosystems in the new millennium // *Restoration ecology*. 2001. 9(2): p. 239–246.
4. Rielsame W.E., Meyer W.B., Turner B. Modeling land use and cover as part of global environmental change // *Climatic change*. 1994.28(1-2), p. 45–64.
5. Alonso-Pérez F. et al. Land cover changes and impact of shrimp aquaculture on the landscape in the Ceuta coastal lagoon system, Sinaloa, Mexico // *Ocean & Coastal Management*. 2003. 46(6-7), p. 583–600.
6. Narumalani S., Mishra D.R., Rothwell R.G. Change detection and landscape metrics for inferring anthropogenic processes in the greater EFMO area. *Remote Sensing of Environment*, 2004. 91(3-4), p. 478–489.
7. DeFries, R.S., J.A. Foley, Asner G.P. Land-use choices: Balancing human needs and ecosystem function. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2004. 2(5): p. 249–257.
8. Lu D., et al. Change detection techniques. *International journal of remote sensing*, 2004. 25(12): p. 2365–2401.
9. Yuan F., et al. Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. *Remote sensing of Environment*, 2005. 98(2-3): p. 317–328.
10. Chen X.-L., et al., Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes // *Remote sensing of environment*. 2006. 104(2): p. 133–146.
11. Catlow, C.R.A., B. Smit, and R. van Santen, Computer modelling of microporous materials. 2004: Elsevier.
12. Li P., Jiang L., Feng Z. Cross-comparison of vegetation indices derived from Landsat-7 enhanced thematic mapper plus (ETM+) and Landsat-8 operational land imager (OLI) sensors // *Remote Sensing*. 2013. 6(1): p. 310–329.
13. Wulder M.A., et al. Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat // *Remote Sensing of Environment*. 2012. 122: p. 2–10.
14. Im J., Jensen J.R. A change detection model based on neighborhood correlation image analysis and decision tree classification // *Remote Sensing of Environment*. 2005. 99(3): p. 326–340.
15. Bruzzone L., Prieto D.F. An adaptive semiparametric and context-based approach to unsupervised change detection in multitemporal remote-sensing images // *IEEE Transactions on image processing*. 2002. 11(4): p. 452–466.
16. Song C., et al. Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects? // *Remote sensing of Environment*. 2001. 75(2): p. 230–244.
17. Yang L., et al., Urban land-cover change detection through sub-pixel imperviousness mapping using remotely sensed data // *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2003. 69(9): p. 1003–1010.
18. Tewkesbury A.P., et al. A critical synthesis of remotely sensed optical image change detection techniques // *Remote Sensing of Environment*. 2015. 160: p. 1–14.
19. Zhu, Z. and C.E. Woodcock, Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data // *Remote sensing of Environment*. 2014. 144: p. 152–171.
20. Lambin E.F., H.J. Geist, and E. Lepers, Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions // *Annual review of environment and resources*. 2003. 28(1): p. 205–241.
21. Civco D.L. et al A comparison of land use and land cover change detection methods. in *ASPRS-ACSM Annual Conference*. 2002.
22. Miller, D.M., E.J. Kaminsky, and S. Rana, Neural network classification of remote-sensing data. *Computers & Geosciences*, 1995, 21(3): p. 377–386.
23. UN. City population by sex, city and city type. 2012; Available from: <http://data.un.org>.
24. Kottek M. et al. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 2006. 15(3): p. 259–263.
25. Wang Z. et al. Effect of surface roughness, wavelength, illumination, and viewing zenith angles on soil surface BRDF using an imaging BRDF approach // *International journal of remote sensing*. 2014. 35(19): p. 6894–6913.
26. WEF, How green is your city? 2017.

Поступила в декабре 2018 г.

© Аль-Савафи М. Х., Перькова М.В., Аль-Джабери А.А.Х., 2019

Информация об авторах

Аль-Савафи Мохаммед Хасан, аспирант кафедры архитектуры. E-mail: Abokharima@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова д. 46.

Перькова Маргарита Викторовна, кандидат архитектуры, доцент, заведующий кафедрой архитектуры и градостроительства. E-mail: perkova.margo@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова д. 46.

Аль-Джабери Ахмед Абдулсалам Ханаш, аспирант, кафедрой архитектуры и градостроительства. E-mail: ahmeda.hanash@uokufa.edu.iq. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова д. 46.

^{1,*}*Al-Sawafi M.H., ¹Perkova M.V., ¹Al-Jaberi A.A.H.*

¹*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46*

**E-mail: Abokharima@gmail.com*

STUDY OF CHANGES IN THE LAND USE OF BELGOROD WITH REMOTE SENSING AND GIS METHODS

Abstract. Research in the field of land use and land surface is important for a variety of topics and issues. Sustainable development depends largely on monitoring the effects of changes. This study is being discussed in the Belgorod region of the Russian Federation. Factors that are studied and highlighted: built-up areas, greenery, water and empty ground. In the period from 1975 to 1992 and from 1992 to 2017 changes have occurred. The data is obtained from the USGS and EOS Land Viewer data collection archive.

The accuracy of simulated changes is limited by radiometric resolution. The results show dynamics of urban space development, since each period under consideration has its own direction of growth. The classification method used in the comparative study is the neural network. Three thematic maps of Belgorod are the outcomes of this study. They reflect the density of buildings, landscaping and watering of the territory.

Keywords: land use, land surface, geomatics, GIS, remote sensing.

REFERENCE

1. Dimyati M., et al., An analysis of land use/cover change in Indonesia. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(5), pp. 931–944.
2. Canty M.J. Image analysis, classification and change detection in remote sensing: with algorithms for ENVI/IDL and Python, 2014: Crc Press.
3. Hobbs R.J., Harris J.A., Restoration ecology: repairing the earth's ecosystems in the new millennium. Restoration ecology, 2001, 9(2), pp. 239–246.
4. Riebsame, W.E., Meyer W.B., Turner B. Modeling land use and cover as part of global environmental change. Climatic change, 1994, 28(1-2), pp. 45–64.
5. Alonso-Pérez F., et al. Land cover changes and impact of shrimp aquaculture on the landscape in the Ceuta coastal lagoon system, Sinaloa, Mexico. Ocean & Coastal Management, 2003, 46(6-7), pp. 583–600.
6. Narumalani S., Mishra D.R., Rothwell R.G. Change detection and landscape metrics for inferring anthropogenic processes in the greater EFMO area. Remote Sensing of Environment, 2004, 91(3-4), pp. 478–489.
7. DeFries R.S., Foley J.A., Asner G.P. Land-use choices: Balancing human needs and ecosystem function. Frontiers in Ecology and the Environment, 2004, 2(5), pp. 249–257.
8. Lu D., et al., Change detection techniques. International journal of remote sensing, 2004, 25(12): pp. 2365–2401.
9. Yuan F., et al., Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. Remote sensing of Environment, 2005, 98(2-3), pp. 317–328.
10. Chen, X.-L., et al., Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. Remote sensing of environment, 2006, 104(2), pp. 133–146.
11. Catlow, C.R.A., B. Smit, and R. van Santen, Computer modelling of microporous materials, 2004: Elsevier.
12. Li P., Jiang L., Feng Z. Cross-comparison of vegetation indices derived from Landsat-7 enhanced thematic mapper plus (ETM+) and Landsat-8

operational land imager (OLI) sensors. *Remote Sensing*, 2013, 6(1), pp. 310–329.

13. Wulder M.A., et al., Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat. *Remote Sensing of Environment*, 2012, 122, pp. 2–10.

14. Im J., Jensen J.R. A change detection model based on neighborhood correlation image analysis and decision tree classification. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 99(3), pp. 326–340.

15. Bruzzone L., Prieto D.F. An adaptive semiparametric and context-based approach to unsupervised change detection in multitemporal remote-sensing images. *IEEE Transactions on image processing*, 2002, 11(4), pp. 452–466.

16. Song C., et al., Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects? *Remote Sensing of Environment*, 2001, 75(2), pp. 230–244.

17. Yang L., et al., Urban land-cover change detection through sub-pixel imperviousness mapping using remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2003, 69(9), p. 1003–1010.

18. Tewkesbury A.P., et al., A critical synthesis of remotely sensed optical image change detection techniques. *Remote Sensing of Environment*, 2015, 160, pp. 1–14.

19. Zhu Z., Woodcock C.E. Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 2014, 144, pp. 152–171.

20. Lambin E.F., Geist H.J., Lepers E. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual review of environment and resources*, 2003, 28(1), pp. 205–241.

21. Civco D.L., et al. A comparison of land use and land cover change detection methods. in *ASPRS-ACSM Annual Conference*, 2002.

22. Miller D.M., E.J. Kaminsky, and S. Rana, Neural network classification of remote-sensing data. *Computers & Geosciences*, 1995, 21(3), pp. 377–386.

23. UN. City population by sex, city and city type. 2012; Available from: <http://data.un.org>.

24. Kottek M., et al., World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 2006, 15(3), pp. 259–263.

25. Wang Z., et al., Effect of surface roughness, wavelength, illumination, and viewing zenith angles on soil surface BRDF using an imaging BRDF approach. *International journal of remote sensing*, 2014, 35(19), pp. 6894–6913.

26. WEF, How green is your city? 2017.

Received in December 2018

Information about the author

Al-Sawafi, Mohammed Hasan. Postgraduate of architecture. E-mail: Abokharima@gmail.com, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Perkova, Margarita V. Ph.D., Assistant professor at the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Al-Jaberi, Ahmed Abdulsalam Hanash. Postgraduate of architecture. E-mail: ahmeda.hanash@uokufa.edu.iq, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Для цитирования:

Аль-Савафи М.Х., Перькова М.В., Аль-Джабери А.А.Х. Изучение изменений в землепользовании территории г. Белгорода с использованием дистанционного зондирования и гис методов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 103–111. DOI: 10.12737/article_5c506230c1b058.24738025

For citation:

Al-Sawafi M.H., Perkova M.V., Al-Jaberi A.A.H. Study of changes in the land use of Belgorod with remote sensing and gis methods. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2019, no. 1, pp. 103–111. DOI: 10.12737/article_5c506230c1b058.24738025