© Епринцев С.А., Клепиков, О.В. Шекоян С.В., 2020

УДК 502/504; 614.7

Дистанционное зондирование Земли как способ оценки качества окружающей среды урбанизированных территорий

С.А. Епринцев[1], О.В. Клепиков[1,2,3], С.В. Шекоян[1]

[1]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»,
Университетская площадь, д. 1, г. Воронеж, 394018, Российская Федерация

[2]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»,
проспект Революции, д. 19, г. Воронеж, 394036, Российская Федерация

[3]ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по Воронежской области»,
ул. Космонавтов, д. 21, г. Воронеж, 394038, Российская Федерация

Резюме: *Введение*. Пространственное зонирование урбанизированной территории по уровню антропогенной нагрузки с использованием наземных методов исследований характеризуется существенными временными затратами. С конца XX века альтернативой этому служит использование технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). *Цель исследования*. Геоинформационное зонирование и оценка уровня техногенных изменений территорий по индексу NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). *Материалы и методы*. Объектом исследования являлись города Воронежской области и их пригородные десятикилометровые территории. Для пространственного анализа площади антропогенно измененных территорий на примере городов Воронежской области создан архив многоканальных космических снимков, полученных со спутников Landsat-7 и Landsat-8. Сбор данных произведен на базе сайта Геологической службы США. Космические снимки сгруппированы в два периода (2001 г. и 2016 г.). В зависимости от индекса NDVI выделены территории с высокой и низкой антропогенной нагрузкой, зоны природного каркаса, водные объекты. *Результаты исследования.* Установлено, что наименьшая доля площадей природного каркаса и неудачное их расположение среди изученных городов Воронежской области наблюдаются на территории города Воронежа. Наибольшая площадь территории, занятая природным каркасом, выявлена в пределах городского округа города Борисоглебска. Данный факт объясняется рациональной политикой региональных и муниципальных властей в сфере обеспечения экологической и гигиенической безопасности населения на данной территории. *Обсуждение результатов.* Сегодня еще невозможно в полной мере использовать данные космического мониторинга для оценки риска здоровью населения, обусловленного воздействием техногенных факторов, и они могут применяться только совместно с наземным мониторингом − инструментальным и лабораторным контролем показателей качества окружающей среды, в том числе в рамках социально-гигиенического мониторинга. *Вывод.* Анализ изменения доли площадей с сильной антропогенной нагрузкой по отношению к природному каркасу, выполненный по космическим снимкам 2001 г. и 2016 г., позволил сделать вывод об увеличении техногенной нагрузки на окружающую среду городов.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, космические снимки, NDVI-анализ, урбанизированные территории, пространственное зонирование, геоинформационные системы, уровень антропогенной нагрузки, природный каркас.

Для цитирования: Епринцев С.А., Клепиков О.В., Шекоян С.В. Дистанционное зондирование Земли как способ оценки качества окружающей среды урбанизированных территорий // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 4 (325). С. 5–12. DOI: https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-325-4-5-12

Remote Sensing of the Earth as a Method of Assessing Environmental Quality of Urban Areas

S.A. Yeprintsev[1], O.V. Klepikov[1,2,3], S.V. Shekoyan[1]

[1]Voronezh State University, 1 University Square, Voronezh, 394018, Russian Federation

[2]Voronezh State University of Engineering Technologies, 19 Revolution Avenue, Voronezh, 394036, Russian Federation

[3]Center for Hygiene and Epidemiology in the Voronezh Region,
21 Kosmonavtov Street, Voronezh, 394038, Russian Federation

Abstract. *Introduction*: Spatial zoning of an urban area by the level of anthropogenic burden using land-based research methods is very time-consuming. Since the end of the 20th century, the usage of the Earth remote sensing (ERS) techniques has served as their more efficient alternative. The *study objectives* included geoinformation zoning and evaluation of the level of technogenic changes in the areas according to NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) values. *Materials and methods*: The cities of the Voronezh Region and their suburban ten-kilometer territories were chosen as the study objects. For the spatial analysis of the area of anthropogenically modified territories based on the example of the cities of the Voronezh Region we created an archive of multichannel satellite images taken by the Landsat-7 and Landsat-8 satellites. The data were borrowed from the Website of the US Geological Survey. Space images were grouped by two periods (the years of 2001 and 2016). Depending on NDVI values, territories with high and low anthropogenic burden, natural framework zones, and water bodies were distinguished. *Results*: We established that the smallest percentage of areas of the natural framework and their poor location was observed in the city of Voronezh. The largest area occupied by the natural framework was identified within the town of Borisoglebsk. This fact is attributed to the sensible policy of ensuring environmental and hygienic safety of the population implemented by the regional and municipal authorities. *Discussion*: At present, it is still impossible to fully use space monitoring data to assess health risks of technogenic factors; they can only be used simultaneously with ground monitoring that includes instrumental and laboratory monitoring of environmental quality indicators within the framework of the socio-hygienic monitoring. *Conclusions:* The analysis of changes in the proportion of areas with a high anthropogenic burden relative to the natural framework performed using satellite images taken in 2001 and 2016 showed an increase in the technogenic burden on the urban environment.

Key words: Earth remote sensing, satellite images, NDVI analysis, urban areas, spatial zoning, geographic information systems, anthropogenic burden, natural framework.

For citation: Yeprintsev SA, Klepikov OV, Shekoyan SV. Remote sensing of the Earth as a method of assessing environmental quality of urban areass. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2020; (4(325)):5–12. (In Russian) DOI: https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-325-4-5-12

Information about the authors: Yeprintsev S.A., https://orcid.org/0000-0002-5266-9238; Klepikov O.V., https://orcid.org/0000-0001-9228-620X; Shekoyan S.V., https://orcid.org/0000-0002-8178-0066.

Введение. Высокая техногенная нагрузка на окружающую среду, особенно характерная для городских поселений, обуславливает необходимость организации мониторинга за факторами риска причинения вреда здоровью человека. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека накоплен многолетний опыт ведения

социально-гигиенического мониторинга (СГМ), а опыт реализации риск-ориентированного планирования контрольно-надзорных мероприятий позволил сформировать федеральный реестр объектов надзора, включающий свыше 630 тыс. объектов в 85 регионах страны, 7,5 % которых относятся к категории чрезвычайно высокого и высокого риска причинения вреда здоровью [1].

Урбанизация и индустриализация стали причиной существенного снижения качества окружающей среды современных городов. Вместе с тем, рассматривая качество жизни населения с экономических, социологических, экологических и других позиций, эксперты Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) предложили использовать так называемый «индекс качества жизни» (Better life index), включающий 11 направлений, в том числе и качество окружающей среды [2].

В этой связи Роспотребнадзором поднимаются вопросы имплементации показателей оценки качества жизни в систему социально-гигиенического мониторинга [3]. В СГМ активно внедряются геоинформационные технологии (ГИС). При рассмотрении опыта внедрения ГИС в СГМ было высказано мнение, что в отдаленной перспективе СГМ может составить ведущую часть единой системы мониторинга условий жизни населения на планете Земля [4].

Пространственное зонирование урбанизированной территории по уровню антропогенной нагрузки с использованием наземных методов исследований характеризуется существенными временными затратами, что в условиях постоянно меняющейся ситуации не всегда эффективно. С конца XX века хорошей альтернативой этому служит использование технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [5, 6].

Уже сегодня имеется ряд исследований, позволяющих использовать ДЗЗ для решения санитарно-гигиенических и экологических задач, а также для оценки и прогнозирования чрезвычайных ситуаций (наводнений, лесных пожаров) при обеспечении гигиенической, эпидемиологической и экологической безопасности населения [7—9].

В частности, профессор В.П. Раклов (2017) отмечает, что одним из наиболее эффективных и экономически выгодных способов контроля использования полигонов, в том числе для выявления и ликвидации несанкционированных свалок, является аэрокосмический мониторинг полигонов с использованием ГИС-технологий сбора и анализа данных [7]. О.Г. Новикова (2015) на примере исследования Барабо-Кулундинской низменности Новосибирской области приводит данные по оперативному спутниковому мониторингу природно-территориальных комплексов, в том числе прогнозированию последствий наводнений, что также важно для оценки санитарно-эпидемиологической ситуации [8]. В.П. Днепровской с соавт. (2017) предложена и апробирована методика комплексной оценки воздействия природных и техногенных факторов на состояние окружающей среды с использованием спутниковых данных и NDVI-анализа [9].

Анализ информации, полученной с космических снимков местности, позволяет упростить процесс геоинформационного картографирования городской инфраструктуры с зонированием факторов, определяющих качество окружающей среды. Данные дистанционного зондирования Земли могут служить основой для принятия управленческих решений по разработке организационных санитарно-гигиенических мероприятий в сфере современного градостроительства, планировки населенных мест, по обоснованию приоритетных направлений природоохранной политики региона.

В настоящее время на территории Российской Федерации по материалам ДЗЗ проводятся анализ с последующим оперативным оповещением об очагах лесных пожаров, изучение антропогенного воздействия на природные объекты и особо охраняемые природные территории [10—13].

Анализ комфортности окружающей среды на урбанизированных территориях требует сопоставления комплекса условий: рельефа территории, экологического состояния, климатических и социально-экономических условий. Оценку степени антропогенной нагрузки в пределах урбанизированной территории с выделением зон природного каркаса по данным дистанционного зондирования Земли представляется возможным производить с использованием оптических свойств зеленых листьев, которые одинаковы для всех типов растительности (NDVI-анализ) [14, 15].

Следует отметить, что применение технологий ДЗЗ имеет ряд недостатков: высокие квалификационные требования к исполнителям работ, низкая экономическая эффективность при выполнении разовых работ для небольших территорий, отсутствие возможности использования космических снимков для создания топографических планов.

Данные, полученные в ходе дешифрирования космических снимков, в идеале требуется проверить в полевых (натурных) условиях.

Цель исследования. Геоинформационное зонирование и оценка уровня техногенных изменений территорий по индексу NDVI.

Для достижения поставленной цели решены задачи: 1) сбор и анализ космоснимков исследуемых урбанизированных территорий Воронежской области; 2) пространственный анализ экологического каркаса исследуемых урбанизированных территорий по данным дистанционного зондирования Земли; 3) пространственный анализ площади антропогенно измененных территорий по индексу NDVI.

Материалы и методы. Для пространственного анализа площади антропогенно измененных территорий на примере городов Воронежской области создан архив многоканальных космических снимков, полученных со спутников Landsat-7 и Landsat-8. Сбор данных произведен на базе сайта Геологической службы США [25].

Космические снимки сгруппированы в два периода (2001 и 2016 годы). Содержание архива представлено в табл. 1.

Характеристики каналов многоканальных космоснимков, содержащихся в архиве, представлены в табл. 2 (спутник Landsat-7) и табл. 3 (спутник Landsat-8).

Обработка полученных космоснимков проведена в программном пакете ArcGIS 10.3.

Таблица 1. **Содержание архива космических снимков городов Центральной России (с пригородными территориями) со спутников Landsat-7 и Landsat-8**

Table 1. **The contents of the archive of satellite images of the cities of Central Russia (with suburban territories) taken by Landsat-7 and Landsat-8 satellites**

Урбанизированные территории, представленные на снимке / Urban areas shown in the satellite image	Период съемки / Shooting period	Код космического снимка / Code of the space image
Воронежская область (Воронеж, Нововоронеж, Лиски) / **Voronezh Region** (cities of Voronezh, Novovoronezh, Liski)	10.08.2001	LE71760242001222KIS00
	16.08.2016	LC81760242016240LGN00
Воронежская область (Павловск, Россошь) / **Voronezh Region** (cities of Pavlovsk, Rossosh)	03.08.2001	LE71750252001215SGS00
	20.08.2016	LC81750252016233LGN00
Воронежская область (Борисоглебск) / **Voronezh Region** (Borisoglebsk)	12.08.2001	LE71740242001224KIS00
	29.08.2016	LC81740242016242LGN00

Таблица 2. **Характеристика каналов многоканальных космоснимков спутника Landsat-7**

Table 2. **Channel characteristics of multichannel satellite images of the Landsat-7 satellite**

№ канала, название / Channel No., name	Индексы каналов / Channel indices	Спектральный диапазон, мкм / Spectral range, micrometers	Пространственное разрешение, м / Spatial resolution, meters	Полоса обзора, км / Range, kilometers	Повторяемость съемки одной территории / Periodicity of satellite imagery
1, синий / 1, blue	B1 или B10	0,45–0,515	30	185	16 суток / 16 days
2, зеленый / 2, green	B2 или B20	0,525–0,605	30		
3, красный / 3, red	B3 или B30	0,63–0,690	30		
4, ближний инфракрасный / 4, NIR	B4 или B40	0,75–0,90	30		
5, коротковолновый инфракрасный / 5, SWIR	B5 или B50	1,55–1,75	30		
6, тепловой / 6, thermal	B61 и B62	10,40–12,5	30		
7, коротковолновый инфракрасный / 7, SWIR	B7 или B70	2,09–2,35	30		
8, панхроматический / 8, PAN	B8 или B80	0,52–0,90	15		

Таблица 3. **Характеристика каналов многоканальных космоснимков спутника Landsat-8**

Table 3. **Channel characteristics of multichannel satellite images of the Landsat-8 satellite**

№ канала, название / Channel No., name	Индексы каналов / Channel indices	Спектральный диапазон, мкм / Spectral range, micrometers	Пространственное разрешение, м / Spatial resolution, meters	Полоса обзора, км / Range, kilometers	Повторяемость съемки одной территории / Periodicity of satellite imagery
1, голубой / 1, New Deep Blue	B1	0,43–0,45	30	170 x 185	16 суток / 16 days
2, синий / 2, blue	B2	0,45–0,51	30		
3, зеленый / 3, green	B3	0,53–0,59	30		
4, красный / 4, red	B4	0,64–0,67	30		
5, ближний инфракрасный / 5, NIR	B5	0,85–0,88	30		
6, коротковолновый инфракрасный / 6, SWIR	B6	1,57–1,65	30		
7, коротковолновый инфракрасный / 7, SWIR	B7	2,11–2,29	30		
8, панхроматический / 8, PAN	B8	0,52–0,90	15		
9, коротковолновый инфракрасный / 9, CIRRUS	B9	1,36–1,38	30		
10, тепловой / 10, TIR или TIRS	B10	10,6–11,19	100		
11, тепловой / 11, TIR или TIRS	B11	11,5–12,51	100		

Пространственная оценка соотношения площадей антропогенно измененных территорий и природного каркаса произведена путем определения значения NDVI в пределах городов и пригородных десятикилометровых зон.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) — нормализованный относительный индекс растительности — часто называется вегетационным индексом. Этот показатель рассчитывается по данным о поглощении и отражении растениями лучей красной и ближней инфракрасной зоны спектра. Показатель NDVI подходит для идентификации зон природного каркаса урбанизированных территорий, а также водных объектов и степени антропогенной нагрузки, оказываемой на территорию. Значение NDVI представляется возможным рассчитать по многоканальным космическим снимкам с любым разрешением (высоким, средним или низким). Главное условие для определения индекса NDVI — наличие спектральных каналов в красном и инфракрасном диапазоне [25].

Для обработки космоснимков 2001 и 2016 годов выделялись равные площади территорий.

При помощи инструментария «Анализ изображений» (Image Analysis) в программном пакете ArcGIS 10.3 рассчитаны показатели NDVI для исследуемых урбанизированных территорий городов Воронежской области, а также пригородных десятикилометровых зон с последующим пространственным геоинформационным зонированием территорий по данному показателю (рисунок).

Значения NDVI отображаются при помощи как стандартизованной непрерывной градиентной, так и дискретной шкал. Диапазон значений чаще всего находится в пределах от −1 до 1. В отдельных случаях возможно представление в масштабированной шкале (от 0 до 255).

По особенностям отражения в красной и инфракрасной областях спектра представляется возможной идентификация на космическом снимке как природных, так и антропогенных объектов с последующим выводом о степени антропогенной нагрузки на территорию (табл. 4).

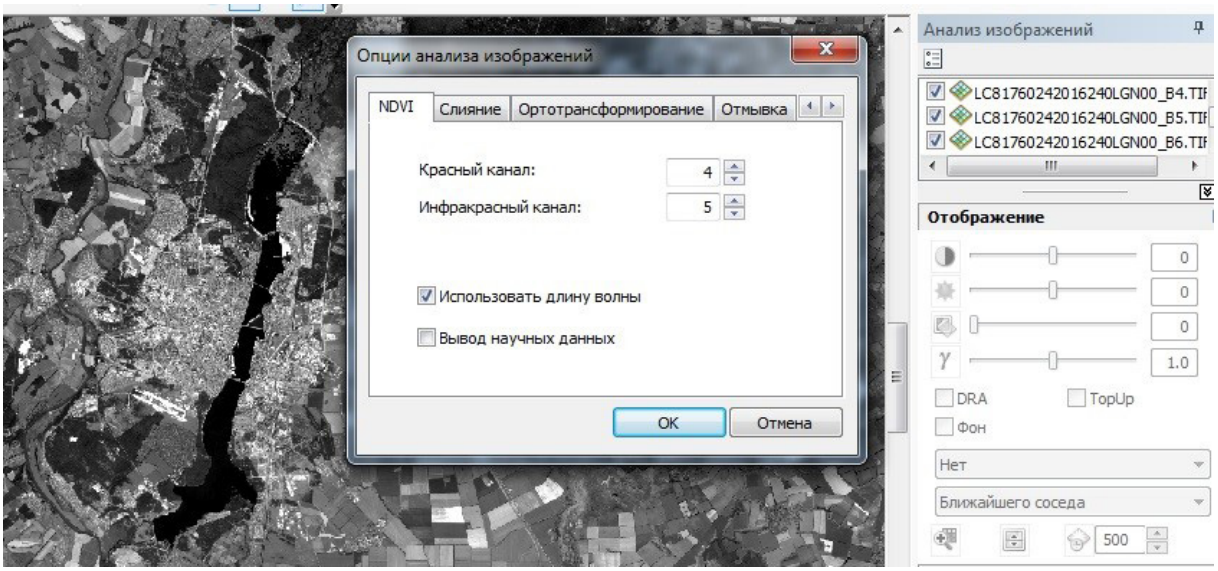

Рисунок. Пример обработки космического снимка в программе ArcGIS с помощью инструментария «Анализ изображений»
Figure. An example of processing a satellite image in ArcGIS using the Image Analysis toolkit

***Таблица 4.* Идентификация объектов урбанизированных территорий по индексу NDVI**
***Table 4.* Identification of the objects of urban areas using the NDVI value**

Тип объекта / Object type	Значение отражения в красной области спектра / The value of reflection in the red region of the spectrum	Значение отражения в инфракрасной области спектра / Infrared reflection value	Значение NDVI / NDVI value
Густая растительность (территории природного каркаса) / Dense vegetation (territories of the natural framework)	0.1	0.5	0.7
Разреженная растительность (территории природного каркаса) / Sparse vegetation (territories of the natural framework)	0.1	0.3	0.5
Открытая почва (сельскохозяйственные угодья – территории со слабой антропогенной нагрузкой) / Open soil (agricultural land – areas with low anthropogenic burden)	0.25	0.3	0.025
Облака (территории, не подвергающиеся анализу) / Clouds (territories not subject to analysis)	0.25	0.25	0
Снег и лед / Snow and ice	0.375	0.35	-0.05
Вода (водоемы и прочие гидрологические объекты) / Water (reservoirs and other hydrological objects)	0.02	0.01	-0.25
Искусственные материалы (бетон, асфальт – территории с высокой антропогенной нагрузкой) / Man-made materials (concrete, asphalt – areas with a high anthropogenic burden)	0.3	0.1	-0.5

На основе полученных значений индекса NDVI исследуемые урбанизированные территории, а также пригородные десятикилометровые участки были разделены на 4 зоны: 1) территории с сильной антропогенной нагрузкой – участки, занятые многоэтажной застройкой, преимущественно промышленные, селитебные и коммунально-складские зоны городов; 2) территории с относительно слабой антропогенной нагрузкой – участки с малоэтажной разреженной застройкой, частные домовладения, сельскохозяйственные угодья; 3) территории природного каркаса – участки с густой и разреженной растительностью; 4) водные объекты – озера, реки, водохранилища и т. д.

Результаты исследования. Пространственное зонирование урбанизированных территорий, а также пригородных десятикилометровых зон городов Воронежа, Нововоронежа, Лиски по индексу NDVI космического снимка LE71760242001222KIS00 спутника Landsat-7 позволило изучить ряд параметров качества окружающей среды (уровень антропогенной нагрузки, природный каркас территории, гидрологические объекты) в 2001 году. Для оценки изменения характеристик данных территорий аналогичное зонирование проведено по космическому снимку LC81760242016240LGN00 спутника Landsat-8 за 2016 год.

Дифференциация территории по индексу NDVI в программном пакете ArcGIS позволила выделить в пределах исследуемых урбанизированных территорий (а также пригородных десятикилометровых зон) 4 вида участков (зон) (табл. 5).

Пространственное зонирование территории городского округа города Воронежа и его десятикилометровой пригородной зоны (2016 г.) показало, что большую часть (более 43 % территории) занимают участки со слабой антропогенной нагрузкой – в основном расположенные вблизи города сельскохозяйственные поля.

Удельный вес природного каркаса – около 12 % от общей площади исследуемой территории. Пространственное расположение зон

Таблица 5. **Пространственное зонирование территорий городов Воронежской области и пригородных десятикилометровых зон (% площади территории)**

Table 5. **Spatial zoning of the cities of the Voronezh Region and their suburban ten-kilometer zones (% of the area)**

Вид территории (зоны) / Area type	Городской округ / Cities											
	Воронеж / Voronezh		Нововоронеж / Novovoronezh		Лиски / Liski		Павловск / Pavlovsk		Россошь / Rossosh		Борисоглебск/ Borisoglebsk	
	2001	2016	2001	2016	2001	2016	2001	2016	2001	2016	2001	2016
С сильной антропогенной нагрузкой / With a high anthropogenic burden	31,68	40,09	34,40	38,38	41,30	44,88	30,21	45,16	35,14	37,56	31,50	36,05
Со слабой антропогенной нагрузкой / With a low anthropogenic burden	54,87	43,42	53,51	40,86	50,98	38,14	43,40	35,57	40,12	43,50	53,86	34,53
Природный каркас / Natural framework	9,37	12,68	10,92	19,69	7,00	16,45	25,43	18,71	24,60	18,83	14,33	29,26
Водные объекты / Water reservoirs	4,09	3,82	1,17	1,07	0,72	0,52	0,96	0,56	0,14	0,11	0,31	0,16

природного каркаса наблюдается с северной стороны от городского округа города Воронежа, что обуславливает их низкое положительное воздействие на микроклиматические условия городской территории, так как ветра на данной территории имеют преимущественно северо-восточное направление.

Территории, на которых наблюдается сильная степень антропогенной нагрузки (кроме жилой зоны, которую данным методом не представляется возможным идентифицировать отдельно), представляют собой объекты техногенного риска. Их расположение фиксируется преимущественно внутри городской территории.

Сравнительный анализ пространственного геоинформационного зонирования территории городского округа города Воронежа в 2001 и 2016 гг. выявил увеличение удельного веса площади зоны природного каркаса на 3,5 %, что связано с успешной реализацией природоохранных программ, в том числе с посадкой леса после массовых пожаров в пригородных лесных массивах летом 2010 года. Вместе с тем, анализ показывает возрастание на 9 % (с 31 до 40 %) удельного веса площади зон с высоким уровнем антропогенной нагрузки, в основном за счет перехода территорий со слабой антропогенной нагрузкой в этот класс. Данный факт обусловлен массовым проведением строительных работ на территории городского округа. Прежде всего актуальность приобретают вопросы стоимости земли и ее рентабельности (в самом городе цена существенно выше, чем в других изученных городах). Этот факт стимулирует местных предпринимателей выносить производства за пределы городской черты, сокращая при этом площади лесов и других природных урочищ. Кроме того, согласно генеральному плану городского округа города Воронежа, перенос объектов техногенного риска из городской черты предусмотрен как мера по оптимизации эколого-гигиенической ситуации, но это, в свою очередь, помимо положительных эффектов влечет за собой сокращение территории природного каркаса в пригороде.

Пространственное зонирование урбанизированной территории города Лиски, а также его пригородной зоны показало преобладание зон с высокой антропогенной нагрузкой на данной территории (более 44 %), а исследование динамических характеристик показывает ее рост (на 3,5 %), что обусловлено строительством новых жилых районов и активным развитием градообразующего предприятия – Локомотивного депо. Также на данной территории наблюдается увеличение почти на 10 % зоны природного каркаса, а его расположение с наветренной юго-восточной стороны является фактором, оказывающим положительное воздействие на микроклиматические условия.

Геоинформационное зонирование урбанизированных территорий городов Павловск и Россошь по значениям NDVI проведено по космическим снимкам LE71750252001215SGS00 (спутник Landsat-7 от 03.08.2001) и LC81750252016233LGN00 (спутник Landsat-8 от 20.08.2016).

На территории города Павловска также доминируют зоны с высокой антропогенной нагрузкой – более 45 %. Причиной этого является расположение города вдоль трассы М-4 «Дон» с интенсивно развитой придорожной инфраструктурой, а также большое количество промышленных предприятий.

Исследование динамических характеристик города Павловска и его пригородной зоны показали увеличение на 15 % площади территорий с высокой антропогенной нагрузкой за пятнадцатилетний период. Преимущественный рост наблюдается в районе трассы М-4 «Дон», а также предприятия ОАО «Павловскгранит».

Зоны природного каркаса на территории города Павловска сократились на 7 %, что является следствием лесных пожаров 2010 года, а учитывая степные природные условия данной территории, можно говорить о достаточно долгом естественном возобновлении лесных массивов, что обуславливает необходимость вмешательства региональных властей в процессы лесовосстановления.

Большая часть территории, относящейся к природному каркасу вблизи города Павловска, расположена в пойме реки Дон к западу от города.

Анализируя розу ветров данной территории, следует отметить преимущественное преобладание ветров западного направления. Однако, в отличие от других изученных урбанизированных территорий, это преобладание несущественно (около 3 % над ветрами восточного направ-

ления), что дает основание предположить положительное влияние природного каркаса вокруг урбанизированной территории города Павловска на микроклиматические условия города.

Геоинформационное зонирование территории города Россошь, а также его пригородной зоны показало преобладание территорий с низкой антропогенной нагрузкой (более 43 %), что является следствием преимущественного размещения малоэтажной застройки и частных домовладений на данной урбанизированной территории, а также большого количества сельскохозяйственных угодий как в самом городе, так и за его пределами.

В начале XXI века территории с высокой антропогенной нагрузкой размещались преимущественно за пределами городской черты (территория завода ОАО «Минудобрения»), однако в настоящее время данная тенденция изменилась: внутри города удельный вес территории с высокой антропогенной нагрузкой увеличился на 3 %.

На территории города Россошь и в его пригородной зоне наблюдается сокращение на 6 % удельного веса площади зон природного каркаса, что является следствием массовых лесных пожаров летом 2010 года. При этом расположение зон природного каркаса можно назвать удачным с экологической точки зрения (ветра здесь имеют преимущественно северо-западное направление).

Геоинформационное зонирование урбанизированных территорий городского округа города Борисоглебска по значениям NDVI проведено по космическим снимкам LE7174024001224KIS00 (спутник Landsat-7 от 12.08.2001) и LC81740242016242LGN00 (спутник Landsat-8 от 29.08.2016).

Городской округ включает в себя территорию самого города Борисоглебска, а также 24 сельских поселения. Широколиственные дубравы занимают более 25 % данной территории.

Геоинформационное зонирование городского округа города Борисоглебска, а также его пригородной территории позволило выявить наибольший удельный вес площади зон природного каркаса среди других исследованных городов Воронежской области (почти 30 %). Изучение динамических характеристик за пятнадцатилетний период показало существенный рост удельного веса площади зон природного каркаса (с 14 до 29 %). Это можно объяснить грамотной экологической политикой региональных властей: высадкой саженцев в местах, поврежденных лесными пожарами, ограничением доступа автотранспорта в лесные массивы и т. д.

Роза ветров данной территории имеет круговую тенденцию, что позволяет сделать вывод о положительном экологическом влиянии зон природного каркаса на микроклиматические условия городского округа города Борисоглебска.

Обсуждение результатов. Нашими исследованиями показано увеличение доли площади урбанизированной территории, что косвенно свидетельствует о повышении антропотехногенной нагрузки на окружающую среду. Сегодня еще невозможно в полной мере использовать данные космического мониторинга для оценки риска здоровью населения, обусловленного воздействием техногенных факторов, и они могут применяться только совместно с наземным мониторингом, в том числе и в рамках социально-гигиенического мониторинга, использующего результаты инструментального и лабораторного контроля показателей качества окружающей среды [16—18].

В Научном центре оперативного мониторинга Земли Федерального космического агентства реализуются различные направления мониторинга окружающей среды (http://www.ntsomz.ru/for_clients/themat_ip), которые могут быть полезны с позиции обеспечения экологической, гигиенической и эпидемиологической безопасности населения: обнаружение, мониторинг, оценка и прогнозирование последствий стихийных бедствий, природных и техногенных факторов (в т. ч. наводнений, лесных пожаров), мониторинг планировки и застройки населенных мест, верификация городских и земельных кадастров, планирование и управление развитием территорий [19—22].

На основе космического качественного и количественного слежения за антропотехногенным загрязнением окружающей среды населенных мест уже в недалеком будущем станет возможно разрабатывать управленческие решения по обеспечению гигиенической и экологической безопасности населения.

Следует также обратить внимание на то, что Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека письмом от 10.09.2019 № 02/12815-2019-32 «О повышении квалификации в области изучения, обработки и применения космических данных дистанционного зондирования Земли из космоса» проинформировала подведомственные организации о возможности прохождения специалистами Роспотребнадзора программы повышения квалификации «Основы работы с российскими данными дистанционного зондирования Земли из космоса» на базе Государственной корпорации по космической деятельности «РОСКОСМОС», что говорит о перспективности применения рассматриваемого инструментария в социально-гигиеническом мониторинге.

Вместе с тем, в исследовании нами использованы открытые данные со спутников Landsat-7 и Landsat-8 Геологической службы США по причине отсутствия открытых и бесплатных аналогичных отечественных ресурсов с космических аппаратов «Ресурс-П», «Канопус-В», функционирующих как средства ДДЗ и оснащеных гиперспектральной съемочной аппаратурой, не уступающей зарубежным аналогам [23, 24]. В целом, с учетом анализа расширяющейся области применения космического мониторинга поверхности Земли, можно прогнозировать, что в недалеком будущем средства ДЗЗ получат дальнейшее развитие, в том числе для мониторинга факторов окружающей среды и антропогенных изменений территорий населенных мест.

Выводы

1. Таким образом, геоинформационное пространственное зонирование территории городов Воронежской области, а также прилегающих

десятикилометровых участков с выделением объектов, определяющих качество окружающей среды (по индексу NDVI), показало существенные различия изученных территорий по факторам природного каркаса.

2. Наименьшие площади и неудачное расположение территорий природного каркаса наблюдаются на территории города Воронежа, что объясняется рядом экономических причин.

3. Наибольшая площадь территории, занятая природным каркасом, наблюдается в пределах городского округа города Борисоглебска, что объясняется рациональной экологической политикой региональных и муниципальных властей на данной административной территории.

4. На всех изученных урбанизированных территориях и в пригородных зонах наблюдается устойчивый рост удельного веса площади территорий с высокой антропогенной нагрузкой. Данный факт является характерной тенденцией урбанизированных территорий развитых стран мира.

5. Использование показателя NDVI, получаемого на основе космических снимков, целесообразно для идентификации зон природного каркаса урбанизированных территорий, а также водных объектов и степени антропогенной нагрузки, оказываемой на территорию, и в перспективе данный показатель может быть рекомендован к применению в системе социально-гигиенического мониторинга.

Финансирование: *исследования проведены при поддержке гранта РФФИ (проект 19-05-00660А Разработка модели оптимизации социально-экологических условий для населения крупных городов).*

Список литературы
(пп. 2, 25 см. References)

1. Попова А.Ю., Зайцева Н.В., Май И.В. Опыт методической поддержки и практической реализации риск-ориентированной модели санитарно-эпидемиологического надзора: 2014–2017 гг. // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97. № 1. С. 5–9.
3. Попова А.Ю., Зайцева Н.В., Май И.В. К вопросу об имплементации оценки качества жизни населения в систему социально-гигиенического мониторинга // Анализ риска здоровью. 2018. № 3. С. 4–12.
4. Студеникина Е.М., Стёпкин Ю.И., Клепиков О.В. и др. Проблемные вопросы использования географических информационных систем в социально-гигиеническом мониторинге и риск-ориентированном надзоре // Здоровье населения и среда обитания. 2019. № 6 (315). С. 31–36.
5. Епринцев С.А., Шекоян С.В. Изучение параметров качества окружающей среды урбанизированных территорий в условиях повышенной антропогенной нагрузки // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Т. 10. № 2. С. 520–525.
6. Епринцев С.А., Архипова О.Е. Анализ экологической комфортности урбанизированных территорий Воронежской области по данным дистанционного зондирования Земли // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2018. № 4. С. 85–91.
7. Раклов В.П. Методы использования ГИС-технологий при контроле состояния полигонов твердых бытовых отходов // Велес. 2017. № 2-1 (44). С. 65–71.
8. Новикова О.Г. Возможности данных дистанционного зондирования Земли в сфере мониторинга экологических и гидрологических процессов // Мелиорация и водное хозяйство. 2015. № 6. С. 50–53.
9. Днепровская В.П., Ященко И.Г., Перемитина Т.О. Комплексное исследование техногенной нагрузки с использованием спутниковых и наземных данных // Булатовские чтения. 2017. Т. 4. С. 134–142.
10. Яблоков В.М. Геоинформационный анализ структуры и динамики природно-экологического каркаса Москвы на основе открытых геоданных // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2018. № 1. С. 42–48.
11. Костылев В.А., Покидышева Ю.В., Барсуков К.Г. Возможности и проблемы использования данных дистанционного зондирования (ДДЗ) при мониторинге лесных пожаров // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 4-2 (15-2). С. 58–62.
12. Гизатуллин А.Т., Алексеенко Н.А., Моисеева Н.А. Разработка алгоритма превентивной оценки пожарной опасности природных территорий по данным дистанционного зондирования // Геодезия и картография. 2019. Т. 80. № 1. С. 102–109.
13. Серебрякова Е.Д., Трухина Н.И., Покидышева Ю.В. Перспективы использования методов ДДЗ в природопользовании // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 4-2 (15-2). С. 119–124.
14. Сысоева Т.Г., Ковалевская Н.М., Хворова Л.А. Анализ состояния растительности на основе индекса NDVI и данных спутника Landsat 8 // Труды молодых ученых Алтайского государственного университета. 2016. № 13. С. 149–152.
15. Катаев М.Ю., Бекеров А.А., Шалда П.В., Медвецкий Д.В. Сравнение методов обнаружения изменений временного хода вегетационного индекса NDVI // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. 2016. № 1–2. С. 8–10.
16. Рахманин Ю.А., Леванчук А.В., Копытенкова О.И. Совершенствование системы социально-гигиенического мониторинга территорий крупных городов // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96. № 4. С. 298–301.
17. Попова А.Ю., Зайцева Н.В., Май И.В. и др. Нормативно-правовые и методические аспекты интеграции социально-гигиенического мониторинга и риск-ориентированной модели надзора // Анализ риска здоровью. 2018. № 1. С. 4–12.
18. Савельев С.И., Трухина Г.М., Бондарев В.А. и др. Развитие социально-гигиенического мониторинга на региональном уровне // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95. № 11. С. 1033–1036.
19. Новикова Н.Н., Пахомов Л.А., Пермитина Л.И. и др. Возможности Научного центра оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ) по проведению оперативного спутникового мониторинга состояния окружающей среды по данным российских и зарубежных космических систем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. Т. 1. № 1. С. 221–227.
20. Интервью с В.А. Заичко, заместителем начальника управления автоматических космических комплексов и систем Федерального космического агентства // Геоматика. 2015. № 2. С. 12–21.
21. Зеленцов В.А., Потрясаев С.А., Пиманов И.Ю. и др. Использование данных космического радиолокационного зондирования при анализе зон затопления в половодье // Инженерные изыскания. 2018. Т. 12. № 7-8. С. 54–60.
22. Асмус В.В., Бедрицкий А.И., Стасенко В.Н. и др. Развитие в Росгидромете космической подсистемы наблюдений и системы геофизического мониторинга // Метеорология и гидрология. 2017. № 7. С. 35–49.
23. Васильев А.И., Стремов А.С., Коваленко В.П. и др. Методика сопоставления базовых продуктов МСС КА "Канопус-В" и Landsat ETM+ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 4. С. 36–48.
24. Архипов С.А., Бакланов А.И., Линько В.М. Гиперспектральная съемочная аппаратура для космического аппарата “Ресурс-П” // Исследование Земли из космоса. 2014. № 3. С. 78–89.

References

1. Popova AYu, Zaytseva NV, May IV. Experience of methodological support and practical implementation of the risk-oriented model of sanitary-epidemiological surveillance in 2014-2017. *Gigiena i Sanitariya*. 2018; 97(1):5-9. (In Russian). DOI: https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-1-5-9
2. What’s the Better Life Index? Better Life Index. – URL: http://www.oecdbetterlifeindex.org/about/better-life-initiative/ (accessed: 24.01.2019).

3. Popova AYu, Zaitseva NV, May IV. On implementation of population life quality assessment into social-hygienic monitoring system. *Health Risk Analysis*. 2018; (3):4-12. (In Russian). DOI: https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.3.01
4. Studenikina EM, Stepkin YuI, Klepikov OV, et al. Problematic issues of the geographic information systems use in socio-hygienic monitoring and risk-based supervision. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2019; (6(315)):31-36. (In Russian). DOI: https://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-315-6-31-36
5. Eprintsev SA, Shekoyan SV. Studying the parameters of environmental quality of urban areas in the context of increased anthropogenic load. *Geopolitika i Ekogeodinamika Regionov*. 2014; 10(2):520-525. (In Russian).
6. Eprintsev SA, Arkhipova OE. Analysis of environmental comfort of urban areas of the Voronezh Region according to remote sensing of the Earth. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*. 2018; (4):85-91. (In Russian).
7. Raklov VP. Methods of use of GIS-technology when monitoring the condition of solid waste landfills. *Veles*. 2017; (2-1(44)):65-71. (In Russian).
8. Novikova OG. The possibilities of Earth remote sensing data in the monitoring of environmental and hydrological processes. *Melioratsiya i Vodnoe Hozyaystvo*. 2015; (6):50-53. (In Russian).
9. Dneprovskaya VP, Yashchenko IG, Peremitina TO. Complex investigation of technogenic load with use of satellite and surface data. *Readings of A.I. Bulatov: Proceedings of the I International scientific and practical conference*, March 31, 2017, Krasnodar. Professor O.V. Savenok, editor. Krasnodar: Publishing House – South. 2017; 4:134-142. (In Russian).
10. Yablokov VM. GIS-based analysis of structure and dynamics of the Moscow urban environmental infrastructure using the open geodata. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya*. 2018; 1(1):42-48. (In Russian).
11. Kostylev VA, Pokidysheva YuV, Barsukov KG. Opportunities and problems of using remote sensing data (Remote Sensing) for monitoring forest fires. *Aktual'nye Napravleniya Nauchnykh Issledovaniy XXI veka: Teoriya i Praktika*. 2015; 3(4-2(15-2)):58-62. (In Russian).
12. Gizatullin AT, Alekseenko NA, Moiseeva VS. Development of the preventive natural fire danger assessment algorithm using remote sensing data. *Geodeziya i Kartografiya*. 2019; 80(1):102-109. (In Russian). DOI: https://doi.org/10.22389/0016-7126-2019-943-1-102-109
13. Serebryakova ED, Trukhina NI, Pokidysheva YuV. Prospects of using remote sensing data methods in nature management. *Aktualnye Napravleniya Nauchnykh Issledovaniy XXI veka: Teoriya i Praktika*. 2015; 3(4-2 (15-2)):119-124. (In Russian).
14. Sysoeva TG, Kovalevskaya NM, Khvorova LA. Analysis of the state of vegetation based on the NDVI index and Landsat-8 satellite data. *Trudy Molodykh Uchenykh Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2016; (13):149-152. (In Russian).
15. Kataev MYu, Bekerov AA, Shalda PV, et al. Comparison of methods for detecting changes in the time course of the NDVI vegetation index. In: *Proceedings of the International Conference on Electronic Devices and Control Systems,* Tomsk. 2016; (1-2):8-10. (In Russian).
16. Rakhmanin YuA, Levanchuk AV, Kopytenkova OI. Improvement of the system of social and hygienic monitoring of territories of large cities. *Gigiena i Sanitariya*. 2017; 96(4):298-301. (In Russian). DOI: https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-4-298-301
17. Popova AYu, Zaitseva NV, May IV, et al. Regulatory-legal and methodical aspects of social-hygienic monitoring and risk-oriented surveillance model integration. *Health Risk Analysis*. 2018; (1):4-12. (In Russian). DOI: https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.1.01
18. Savelyev SI, Trukhina GM, Bondarev VA, et al. Development of social and hygienic monitoring at the regional level. *Gigiena i Sanitariya*. 2016; 95(11):1033-1036. (In Russian). DOI: https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-11-1033-1036
19. Novikova NN, Pakhomov LA, Permitina LI, et al. Possibilities of the Scientific Center for Operational Monitoring of the Earth (NTs OMZ) to conduct operational satellite monitoring of the state of the environment according to Russian and foreign space systems. *Sovremennye Problemy Distancionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2004; 1(1):221-227. (In Russian).
20. Interview with V.A. Zaichko, Deputy Head of the Department of Automatic Space Complexes and Systems of the Federal Space Agency. *Geomatika*. 2015; (2):12-21. (In Russian).
21. Zelentsov VA, Potryasaev SA, Pimanov IYu, et al. The use of synthetic aperture radar (SAR) data in the analysis of inundated areas during the spring flood. *Inzhenernye Izyskaniya*. 2018; 12(7-8):54-60. (In Russian). DOI: https://doi.org/10.25296/1997-8650-2018-12-7-8-54-60
22. Asmus VV, Bedritskiy AI, Stasenko VN, et al. Development of a space subsystem of observations and a geophysical monitoring system in Roshydromet. *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2017; (7):35-49. (In Russian).
23. Vasiliev AI, Stremov AS, Kovalenko VP, et al. Methodology of Kanopus-V MSS and Landsat ETM + basic product comparison. *Sovremennye Problemy Distantsionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2018; 15(4):36-48. (In Russian). DOI: https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-4-36-48
24. Arkhipov SA, Baklanov AI, Linko VM. Hyperspectral survey equipment for the Resurs-P spacecraft. *Issledovanie Zemli iz Kosmosa*. 2014; (3):78-89. (In Russian). DOI: https://doi.org/10.7868/S0205961414030014
25. U.S. Geological Survey. https://www.usgs.gov (accessed: 25.01.2020).

Контактная информация:

Клепиков Олег Владимирович, доктор биологических наук, профессор, программист отделения статистики организационно-методического отдела ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области»; профессор кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, Воронежский государственный университет; профессор промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств
e-mail: klepa1967@rambler.ru

Corresponding author:

Oleg V. **Klepikov**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Programmer of the Statistics Division, Organizational and Methodological Department, Center for Hygiene and Epidemiology in the Voronezh Region; Professor of the Department for Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University; Professor of Industrial Ecology, Equipment of Chemical and Petrochemical Industries
e-mail: klepa1967@rambler.ru

Статья получена: 14.02.2020
Принята в печать: 06.04.2020