

Оценка динамики природного каркаса урбанизированных территорий Воронежской области по материалам дистанционного зондирования земли

Assessment of natural framework dynamics of the urbanized territories of the Voronezh region according to the materials of sounding

Архипова / Arkhipova O.

Ольга Евгеньевна

(arkhipova@ssc-ras.ru)

кандидат технических наук, доцент.

ФГБУИ Институт аридных зон Южного научного центра РАН, ведущий научный сотрудник.

г. Ростов-на-Дону

Епринцев / Eprintsev S.

Сергей Александрович

(esa81@mail.ru)

кандидат географических наук, доцент.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», доцент.

г. Воронеж

Ключевые слова: природный каркас – natural frame; урбанизированные территории – urban areas; дистанционное зондирование Земли – remote sensing of the Earth.

Работа посвящена использованию технологий космического мониторинга и методов дистанционного зондирования Земли для оценки динамики состояния урбанизированных территорий. Основой служат данные дистанционного зондирования Земли, полученные со спутников Landsat-7 и Landsat-8, а также официальные статистические данные природоохранных ведомств и органов государственного управления, представленные в виде текстовых описаний, табличных справочных данных и графических иллюстраций (карт, диаграмм, рисунков, фото-слайдов).

По материалам спутниковых данных на примере городов Воронежской области проведено комплексное геоэкологическое зонирование урбанизированных территорий и пригородных зон, определяющих природный каркас территории. В основу методики положен трехэтапный алгоритм, включающий расчет индекса NDVI, выделение основных зон природного каркаса на основе методов неконтролируемой классификации и расчета занимаемых ими площадей.

The work is devoted to the use of space monitoring technologies and methods of remote sensing of the Earth (RS) for assessing the dynamics of the state of urbanized territories. The basis is Earth remote sensing data obtained from the Landsat-7 and Landsat-8 satellites, as well as official statistics of nature protection agencies and government bodies, presented in the form of text descriptions, tabular reference data and graphic illustrations. During the classification of spatial objects using the NDVI method on the Landsat-7 and Landsat-8 satellite images, we obtained spatial relationships of the territories occupied by hydrological objects, green plantations that make up the natural framework of the territory, poorly and heavily anthropogenized territories. The methodology is based on a three-stage algorithm, including calculation of the NDVI index, identification of the main zones of the natural framework based on methods of uncontrolled classification and calculation of the areas occupied by them.

Введение

Возрастающие темпы урбанизации и индустриализации современного общества помимо положительных эффектов приводят к увеличению техногенного «давления» на окружающую среду, что влечёт возрастание величины экологического риска и снижение социальной комфортности для населения крупных городов [1, 5, 6, 7]. На фоне возрастающего геохимического загрязнения среды обитания у населения многих крупных промышленных городов проявляются экологически-обусловленные заболевания, что привлекает повышенное внимание ученых и экологов-практиков к исследованию механизмов формирования зон техногенного загрязнения и поиску эффективных путей оздоровления городской среды обитания [5–7]. В приведенном исследовании мы будем рассматривать геоэкологическое зонирование урбанизированных территорий как систему оценки степени кризисности (критичности) сложившегося состояния окружающей среды в результате взаимодействия природы и хозяйственной деятельности человека.

Для эффективного управления развитием территории на уровне принятия решений администрациями муниципальных образований важно выстроить систему критериев качества структуры и функционирования природного каркаса.

В качестве объекта исследования выбраны (природный каркас) урбанизированных территорий Воронежской области (рис. 1).

Широкое применение данных космической съемки, которое началось со второй половины XX века, позволило существенно расширить возможности исследования экологических факторов. Данные ДЗЗ являются одним из основных средств независимого мониторинга состояния окружающей среды. В результате развития методов дистанционного зондирования существенно упростился процесс картографирования земельных и водных



Рис. 1. Карта Воронежской области

ресурсов, почв, лесов, сельскохозяйственных посевов и городской инфраструктуры, оценки урожая и многое другое. При этом для дешифрирования объектов применяются как визуальные, так и численные методы анализа снимков [1, 4].

Методы и данные

Одним из элементов геоэкологического зонирования территории является ее природный каркас, который повышает качество аэрации урбанизированных территорий, а также степень разнообразия ландшафтов. Под природным (экологическим) каркасом территории, согласно эколого-проектировочной документации, понимается совокупность наиболее активных и взаимосвязанных в экологическом отношении пространственных элементов (реки и речные долины, лесные массивы и т.д.), от которых зависит жизнеустойчивость природной среды для данной территории [3]. Ключевые элементы природного комплекса – это территории, сохранившие уникальные экологические сообщества, являющиеся «точками экологической активности».

К базовым элементам природного каркаса относятся:

- ценные природно-территориальные комплексы, занимающие значительную часть территории района (как правило, это федеральные заповедники и заказники, национальные и природные парки, крупные по площади памятники природы);
- природно-территориальные комплексы основных водораздельных поверхностей формирования стоков рек;
- крупные лесные массивы (как правило, это защитные леса);

- крупные болотные и лесные природно-территориальные комплексы (ПТК), не имеющие статуса охраны.

В основу методики оценки динамики природного каркаса территории положено использование данных дистанционного зондирования Земли для исследования изменчивости состояния природного каркаса урбанизированных территорий под воздействием хозяйственной деятельности человека.

Изучение природного каркаса, как фактора экологической безопасности урбанизированных территорий, предполагает использование больших массивов данных, их обработку и картографирование, что делает необходимым применение современных геоинформационных технологий, позволяющих обеспечить сбор, анализ, обработку и визуализацию геоданных, а также получение на их основе новой информации о пространственно-координированных явлениях. Созданные цифровые карты исследуемых территорий обеспечивают точную привязку, систематизацию, отбор и интеграцию всей поступающей и хранимой информации (единое адресное пространство); комплексность и наглядность информации для принятия решений; возможность динамического моделирования процессов и явлений; возможность автоматизированного решения задач, связанных с анализом особенностей территории; возможность оперативного анализа ситуации в экстренных случаях [3].

Основой исследования служат данные дистанционного зондирования Земли, полученные со спутников Landsat-7 и Landsat-8, а также официальные статистические данные природоохранных ведомств и

Таблица 1

**Содержание каталога космических снимков урбанизированных территорий
и со спутников Landsat-7 и Landsat-8 (Воронежская область)**

Основные города на снимке	Дата съемки	Идентификатор снимка
Воронеж, Нововоронеж, Лиски, Старый Оскол, Елец	2001, август, 10	LE71760242001222KIS00
	2016, август, 16	LC81760242016240LGN00
Россошь, Павловск, Богучар, Бутурлиновка	2001, август, 3	LE71750252001215SGS00
	2016, август, 20	LC81750252016233LGN00
Борисоглебск, Балашов	2001, август, 12	LE71740242001224KIS00
	2016, август, 29	LC81740242016242LGN00

Таблица 2

Цветовые обозначения на рисунках пространственного зонирования территорий

п/п	Цвет	Классификация территории	Описание
1	Синий	Водные объекты	Реки, озёра, водохранилище и прочие гидрологические объекты
2	Зелёный	Плотная зелёная растительность	Территории, составляющие природный каркас – леса, сады, скверы, природные урочища и иная густая зелёная растительность
3	Жёлтый	Слабо антропогенизированные территории	Открытая почва, сельскохозяйственные угодья, слабая зелёная растительность
4	Красный	Сильно антропогенизированные территории	Антропогенные сооружения – здания, автодороги и прочие объекты. Территории данной классификационной группы (за исключением селитебной эколого-функциональной зоны) могут рассматриваться как объекты экологического риска

органов государственного управления, представленные в виде текстовых описаний, табличных справочных данных и графических иллюстраций (карт, диаграмм, рисунков, фото-слайдов).

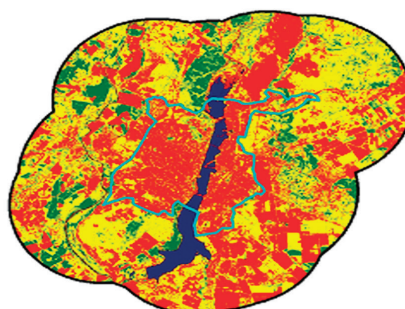
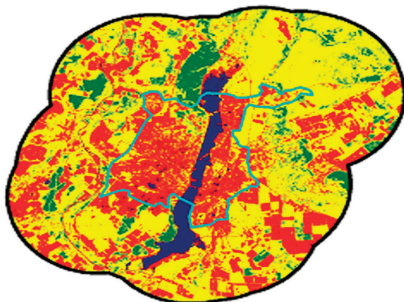
Для изучения природного (экологического) каркаса и временной динамики урбанизированных территорий Центральной России (на примере городов Воронежской области) создан архив многоканальных космических снимков Landsat-7 и Landsat-8, полученных на портале Геологической службы США (данные с сайта U.S. Geological Survey. <https://earthexplorer.usgs.gov>) за 2 периода: 1999–2002 годы и 2015–2016 годы (таблица 1). Содержание каталога представлено в таблице 1.

Для оценки состояния природного каркаса территории предложен трехэтапный алгоритм, состоящий из определения индекса NDVI, использования на втором этапе методов неконтролируемой классификации для выделения основных зон природного каркаса и расчета их площадей. Напомним, что расчет NDVI базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках спектральной кривой отражения сосудистых растений. В красной области спектра (0,6–0,7 мкм) лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом высших сосудистых растений, а в инфракрасной области (0,7–1,0 мкм) находится область максимального отражения клеточных структур листа. То есть высокая фотосинтетическая

Воронеж

LE71760242001222KIS00 спутника Landsat-7
от 10 августа 2001 года

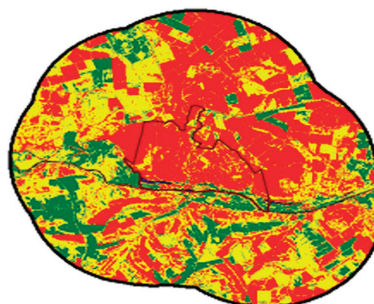
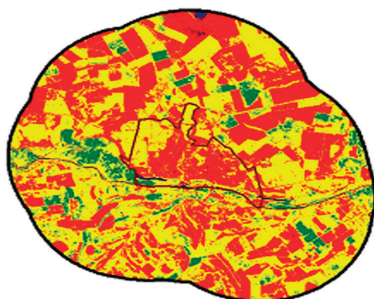
LC881760242016240LGN00 спутника Landsat-8
от 16 августа 2016 года



Лиски

LE71760242001222KIS00 спутника Landsat-7
от 10 августа 2001 года

LC881760242016240LGN00 спутника Landsat-8
от 16 августа 2016 года



Россошь

LE71750252001215SGS00 (Landsat-7), 3/08/2001

LC81750252016233LGN00 (Landsat-8),
20/08/2016

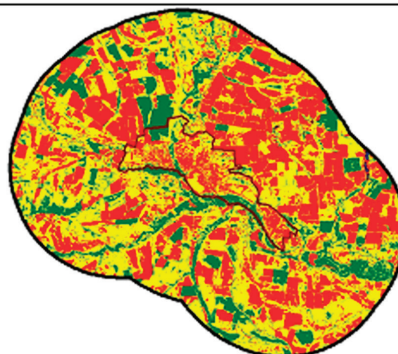
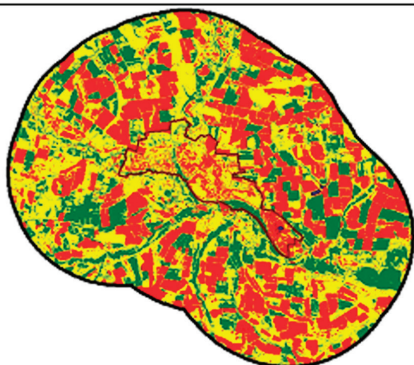


Рис. 2. Пространственное зонирование урбанизированных территорий Воронежской области (цветовые обозначения – согласно таблице 2)

активность (связанная, как правило, с густой растительностью) ведет к меньшему отражению в красной области спектра и большему в инфракрасной. Отношение этих показателей друг к другу позволяет четко выделять и анализировать растительность на фоне прочих природных объектов. Использование нормализованной разности между минимумом и максимумом отражений увеличивает точность измерения, позволяет уменьшить влияние таких явлений как различия в освещенности снимка, облачности, дымки, поглощение радиации атмосферой и т.д. [1, 4].

В ходе классификации пространственных объектов природного каркаса нами были получены пространственные соотношения территорий, занятых гидрологическими объектами, зелёными насаждениями, составляющими природный каркас территории, слабо и сильно антропогенезированными территориями. Исходными данными были выбраны снимки за период августа 2001 и 2016 года, на территории городов Воронежской области (согласно таблице 1), а также в 10-километровых буферных зонах указанных урбанизированных территорий (рис. 2). Ниже приводим полученные результаты по основным городам Воронежской области.

Наименования и описание классификационных единиц, обозначенных различными цветами на рис. 2, приведены в таблице 2.

Результаты и обсуждение

Анализ пространственного зонирования территории городского округа г. Воронеж и пригородной десятикилометровой зоны (в общей сложности 1246 км²) (рис. 2), показал, что большая часть исследуемой территории (от 40 до 50 %) относится к слабоантропогенезированной зоне (рис. 3).

Основную долю слабо антропогенезированных территорий составляют сельскохозяйственные поля,

прилегающих к городу Рамонского, Новоусманского и Семилукского административных районов (рис. 2).

Доля природного каркаса составляет 8–10% от общей площади территории. Однако следует отметить, что территории, составляющие природный каркас урбанизированной территории городского округа г. Воронеж, расположены преимущественно с северной стороны от города, что существенно снижает их положительное воздействие на микроклимат городской территории, поскольку по данным Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, преимущественное перемещение воздушных масс над территорией города Воронеж происходит преимущественно в северо-восточном направлении [9].

Сильно антропогенезированные территории, которые за исключением селитебной эколого-функциональной зоны могут быть рассмотрены как объекты экологического риска, расположены преимущественно внутри территории городского округа г. Воронеж, а также в районе иных более мелких урбанизированных территорий (рис. 2).

Анализ динамики изменения расположения различных зон за 15-летний период (рис. 4) установлено незначительное (в пределах погрешности методики) сокращение водных объектов, увеличение на 8% сильно антропогенезированных территорий, что может быть обусловлено активным строительством жилых объектов как на территории самого города Воронеж, так и в пригородной зоне (Бобяково, Сомово и др.), а также незначительное увеличение территории, относящейся к природному каркасу (менее 5%), что может быть обусловлено реализацией на данной территории различных федеральных и региональных природоохранных программ.

Снижение на 10% территории слабо антропогенезированной зоны городского округа г. Воронеж и пригородной десятикилометровой зоны (рис. 4) обусловлено увеличением сильно антропогенезированной зоны и зоны природного каркаса за счёт данной территории.

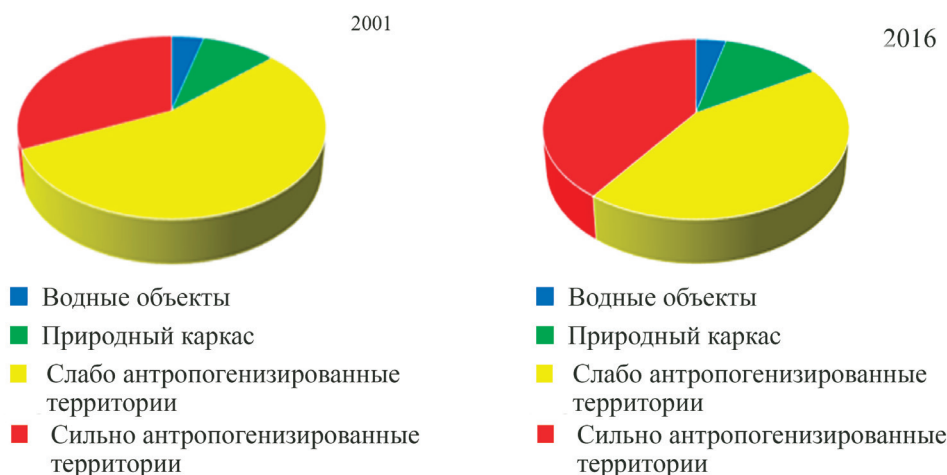


Рис. 3. Распределение категорий, выделенных зонированием территории городского округа г. Воронеж и пригородной десятикилометровой зоны

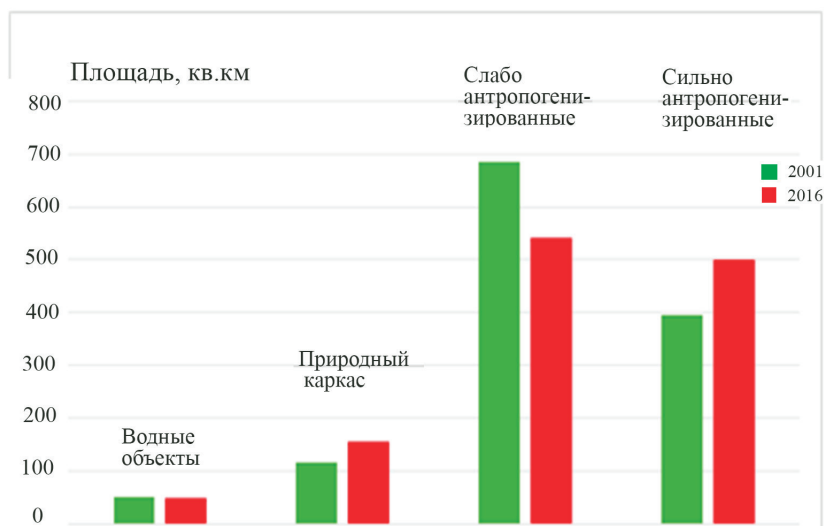


Рис. 4. Динамика распределение категорий, выделенных зонированием по методу NDVI территории городского округа г. Воронежа и пригородной десятикилометровой зоны

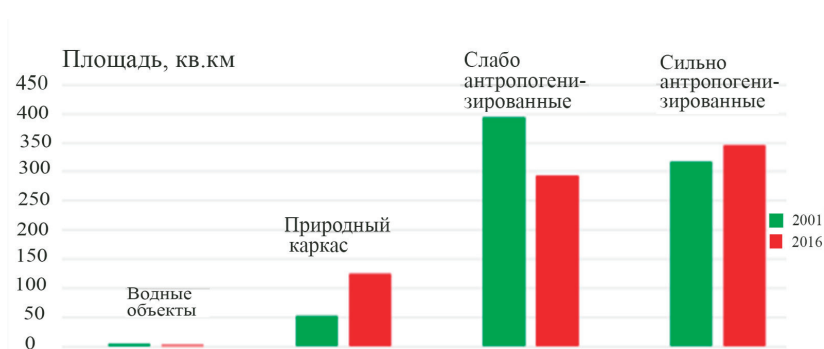


Рис. 5. Динамика распределение категорий, выделенных зонированием по методу NDVI территории г. Лиски и пригородной десятикилометровой зоны

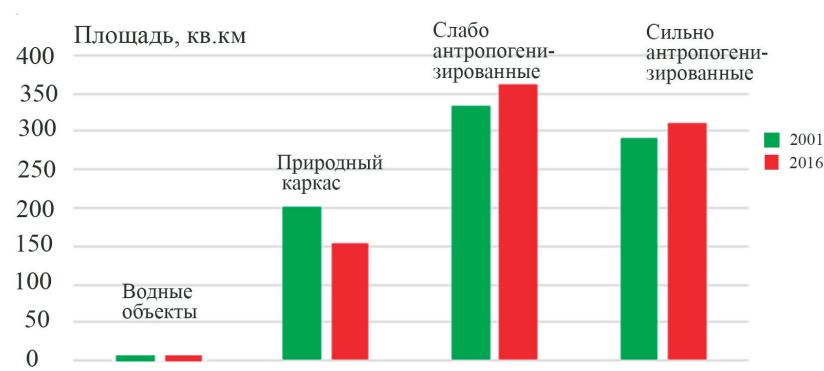


Рис. 6. Динамика распределения категорий, выделенных зонированием по методу NDVI территории г. Россошь и пригородной десятикилометровой зоны

Оценка пятнадцатилетней динамики пространственного зонирования 770 км², включающих территорию города Лиски и пригородную десятикилометровую зону (рис. 2) показывает незначительное сокращение гидрологических объектов, увеличение на 5% сильноантропогенезированной территории по причине активного строительства новых жилых микрорайонов (рис. 5).

В отличие от территории городского округа г. Воронеж, большую часть территории г. Лиски и пригородной десятикилометровой зоны в 2016 составляет сильноантропогенезированная территория, что обусловлено рядом социально-экономических причин. Город является важным железнодорожным узлом, градообразующее предприятие (локомотивное депо) активно развивается, ведётся активное строительство новых микрорайонов и др.

В качестве положительного экологического аспекта на территории города Лиски следует выделить увеличение территории природного каркаса за пятнадцатилетний период более чем на 10 %. Кроме того, увеличение данной территории происходит с наветренной от города юго-восточной стороны, что должно способствовать улучшению микроклиматических условий данной территории.

Наименования и описание классификационных единиц, обозначенных различными цветами на данных рис. 2, приведены в таблице 1.

Пространственный анализ территории города Россошь, являющегося центром химической промышленности Воронежской области, показал преобладание слабоантропогенезированной территории, что обусловлено доминированием низкоэтажной застройки и использованием городских территорий для удовлетворения сельскохозяйственных нужд граждан (рис. 6). В 2001 году сильноантропогенезированные территории располагались преимущественно за пределами городской территории в пригородной зоне (рис. 6). Однако рост российской экономики и увеличение качества жизни населения в стране в начале XXI века затронули и данную урбанизированную территорию. Активное строительство многоэтажных жилых домов увеличило сильноантропогенезированную зону в 2016 году внутри городской территории на 15% (рисунок 6).

В 2001 году территория, составляющая зоны природного каркаса, вблизи город Россошь составляла более 200 км², что примерно 25% от общей площади исследуемой территории города и пригородной десятикилометровой зоны – около 827 км². Однако в 2016 году площадь территории природного каркаса сократилась на 10%, что обусловлено природно-антропогенными лесными пожарами летом 2010 года.

Заключение

В работе предложена методика оценки динамики природного каркаса как фактора экологической безопасности урбанизированных территорий на основе данных

ДЗЗ. В основу методики положен трехэтапный алгоритм, включающий расчет индекса NDVI, выделение основных зон природного каркаса на основе методов неконтролируемой классификации и расчета занимаемых ими площадей. На основе данных архива космоснимков на исследуемой территории выделены четыре основные зоны наиболее активных и взаимосвязанных в экологическом отношении пространственных элементов – сильноантропогенезированные территории, слабоантропогенезированные территории, зоны природного каркаса и водные объекты. Изучена динамика формирования данных зон, а также проведена оценка предпосылок их формирования.

Созданный в ходе исследования архив космоснимков на исследуемую территорию будет пополнен в дальнейшем новыми данными, что позволит существенно уточнить полученные результаты. По мнению авторов, данная методика применима для оценки реализации на данной территории различных федеральных и региональных природоохранных программ, и как следствие, для эффективного управления развитием территории на уровне принятия решений администрациями муниципальных образований.

В статье представлены результаты работ, выполненных при финансовой поддержке РФФИ; грант 16-05-00940-а РФФИ «Научно-методическое обоснование технологии интеллектуального анализа медико-экологической безопасности Южных регионов России».

Литература

1. Пространственно-временной анализ встречаемости онкологических заболеваний как индикатора медико-экологической безопасности / О.Е. Архипова [и др.] – Ростов-на-Дону, 2014. – 224 с.
2. Оценка засоренности антропогенных фитоценозов на основе данных дистанционного зондирования Земли (на примере амброзии полыннолистной) / О.Е. Архипова [и др.] // Исследования Земли из космоса. – 2014. – № 6. – С. 15–26.
3. Епринцев, С. А. Разработка геоинформационных ресурсов для изучения природного каркаса как фактора экологической безопасности урбанизированных территорий / С.А. Епринцев, О.Е. Архипова // Экология. Экономика. Информатика. Сборник статей: в 2-х т. Т. 2: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. Вып. 1. – Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ АН, 2016. – С. 55–63.
4. Качалина, Н. А. Оценка засоренности агрофитоценозов Ростовской области с использованием гиперспектральных данных дистанционного зондирования земли / Н.А. Качалина, А.В. Гречищев, О.Е. Архипова // Информация и Космос. – 2016. – № 1. – С.17–34.
5. Воронеж: среда обитания и зоны экологического риска: монография / С.А. Куролап [и др.] – Воронеж: Истоки, 2010. – 207 с.
6. Медико-экологический атлас Воронежской области / С.А. Куролап [и др.]. – Воронеж: Истоки, 2010. – 166 с.
7. Эколого-географический атлас-книга Воронежской области / под редакцией В.И. Федотова. – Воронеж: Издательство ВГУ, 2013. – 512с.