

Кочуров Б.И.¹, Карандеев А.Ю.²

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ГОРОДСКОГО ПРОСТРАНСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕТОЧНОГО ВЕКТОРНОГО ГИС-АНАЛИЗА

АННОТАЦИЯ

В статье приводится обоснование применения сеточного векторного анализа для геоэкологического картирования и оценки городских территорий на основе данных, собираемых в инфраструктуре геоэкологических данных. В основе оценки предлагается использовать концепцию геоэкосоциосистемы, предполагающей сбалансированное развитие с помощью достижения эколого-хозяйственного баланса. Алгоритм проведения геоэкологической оценки можно разделить на несколько аналитических потоков и связанных с ними ключевых исследований. Итоговая геоэкологическая оценка будет являться синтезирующим показателем, учитывающим загрязнение сред, степень преобразования природных экосистем, наличие и развитость природно-экологического каркаса. Для геоэкологической оценки был выбран балльный подход, в котором каждому параметру присваивался балл от 0 до 10. Баллы суммировались с учетом коэффициента значения соответствующего влиятельности (вкладу) параметра. Предлагается формула расчета параметров тайлов (ячеек) сетки, набор параметров и другие аспекты применения сеточного анализа. Данные о природно-экологическом каркасе и развитии города, а также открытые источники базовой и экологической информации позволили сформировать пример инфраструктуры геоэкологических данных, с помощью которой выполнялась оценка. Для исследования была выбрана территория, охватывающая г. Липецк и пригороды. Эта территория была покрыта векторной сетью с ячейками размером 50 × 50 м. Для каждой ячейки анализировалось антропогенное преобразование площади ячейки, расположение относительно улиц, разделенных по трем категориям (основные, второстепенные и грунтовые), удаленность от основных источников атмосферных загрязняющих выбросов, территорий промышленных предприятий, особо охраняемых природных территорий и элементов природно-экологического каркаса. На исследуемой территории участки с неблагоприятным геоэкологическим состоянием составили 9,48 % (16 600 га). К относительно благоприятным могут быть отнесены 21,74 % территории (38 000 га). Удовлетворительное состояние наблюдается у 68,78 % территории (120 400 га).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: геоэкологическая оценка, геоинформационные системы, инфраструктура геоэкологических данных, сеточный анализ.

¹ ФГБУН «Институт географии Российской академии наук», Старомонетный пер., д. 29, 119017, Москва, Россия, e-mail: info@ecoregion.ru

² ФГБОУ ВО «Липецкий государственный педагогический университет имени П.П. Семенова-Тян-Шанского», ул. Ленина, д. 42, 398020, Липецк, Россия, e-mail: aykarandeev@gmail.com

Boris I. Kochurov¹, Alexander Yu. Karandeev²

URBAN SPACE GEOECOLOGICAL MAPPING AND ASSESSMENT WITH VECTOR FISHNET GIS ANALYSIS

ABSTRACT

This article represents applying vector fishnet GIS analysis in urban geoeological assessment and mapping based on information that are collected in geoeological data infrastructure. As a basis for geoeological assessment, authors propose geoeocosociosystem conception that claims a balance between economic development and ecological improvement as a tool for sustainable development. The algorithm of assessment can be split on a few analytics flows and related key research. Points assessment method was chosen by authors for geoeological assessment. Points from 0 to 10 for each characters was summing with weight coefficient. Final result is sum point that includes characters of ecological network, pollution of the environment and transformation of natural ecosystems. Authors propose a formula for point's calculation of cell (tile) characteristics, list of characteristics and other aspects of fishnet GIS analysis. For research was chosen an area of Lipetsk city and its suburbs. The prototype of geoeological data infrastructure was built on information about ecological network, history of city development and open spatial basic data and ecological data. The area was covered by vector fishnet with 50×50 meter cells. For each cell was calculate a point of anthropogenic transformation of cell's area, distance to streets, which split to 3 categories: main, secondary and unpaved, distance to sources of atmosphere emissions, distant to industry area, distance to natural protected area and distance to elements of ecological network. 68.78 % (120,400 ha) of the area has satisfactory geoeological condition, 21.74 % (38,000 ha) has good condition and 9.48 % (16,600 ha) has poor geoeological condition.

KEYWORDS: ecological assessment, geoeological assessment, geoinformation system, data infrastructure, fishnet analysis.

ВВЕДЕНИЕ

Современные города – это растущие и быстро изменяющиеся системы, требующие периодически проводимой оценки геоэкологического состояния. Объективная геоэкологическая оценка – необходимый залог для устойчивого и стабильного развития территорий, невозможна без учета разнообразных факторов, представленных многочисленными параметрами. Сегодня накоплена огромная масса статистической картографической аналитической и другой информации, которая может стать базой для комплексного анализа экологических проблем города и их своевременного решения. Важной составляющей этого информационного массива для оценки может стать информация о природно-экологическом каркасе территории, так как он позволяет достичь приемлемого эколого-хозяйственного баланса и сформировать устойчивые природно-хозяйственные системы (геоэко-социосистемы). Особо остро проблема формирования природно-экологического каркаса стоит перед урбанизированными территориями. Город и пригородные территории нуждаются не только во внешнем зеленом поясе, но и в экологических коридорах внутренней структуры каркаса.

¹ Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, 29 Staromonetny per., 119017, Moscow, Russia, *e-mail:* info@ecoregion.ru

² Pyotr Semyonov-Tyan-Shansky Lipetsk State Pedagogical University, 42 Lenin str., 398020, Lipetsk, Russia, *e-mail:* aykarandeev@gmail.com

Информационные технологии позволяют с большей эффективностью проводить оценку экологического состояния территория города. Они дают возможность свести всю разнородную информацию об экологическом состоянии города в единую доступную для использования систему данных. Кроме того, с помощью информационных технологии, открытых данных и общественных инициатив научное сообщество может оперативно представлять результаты своих исследований и участвовать в процессе управления городом.

Для доступа и анализа больших массивов информации, необходимой для геоэкологической оценки, создаются информационные инфраструктуры [Тикунов, 2010]. В России, Организации Объединенных Наций, Европейском союзе и других странах ставится вопрос о разработке современных инструментов для работы со все увеличивающимся объемом информации. В результате ряда инициатив появилась Система общей экологической информации (SEIS) в ЕС и Портал экологических данных (EDG) в США. В стратегии развития научной базы UNEP говорится о необходимости разработки инфраструктуры экологических данных. Чаще всего в этих инициативах подразумеваются геоэкологические данные, которые тесно связаны с информацией о конкретной территории. Поэтому актуальным становится вопрос о создании и развитии инфраструктуры геоэкологических данных на региональном и муниципальном уровне управления. Инфраструктура геоэкологических данных должна объединять в единый массив разнородную информацию (результаты научно-исследовательских работ, данные природных кадастров, нормативно-экологические сведения и др.).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценку геоэкологического состояния урбанизированных территорий можно рассматривать как один из примеров стратегической экологической оценки, направленной на выработку долговременной стратегии устойчивого развития территории. В основе оценки предлагается использовать концепцию геоэкосоциосистемы [Кочуров, 1999, 2003], предполагающей сбалансированное развитие с помощью достижения эколого-хозяйственного баланса. Опираясь на эту концепцию, можно предложить несколько основных показателей, позволяющих оценить геоэкосоциосистемы:

- показатели, характеризующие целостность, единство и структуру природно-экологического каркаса даст возможность оценить экологический фонд территории, запас и потенциал для ее развития;
- показатели степени антропогенного преобразования, которые характеризует современное состояние территории и экономическую стоимость преобразования или нового строительства;
- показатели загрязнения сред стационарными промышленными объектами и транспортом;
- показатели степени благоприятности окружающей среды, которая создается с помощью ландшафтно-архитектурной планировки.

Алгоритм проведения геоэкологической оценки можно разделить на несколько аналитических потоков и связанных с ними ключевых исследований (рис. 1):

1. Выделение природно-экологического каркаса – выполняется для оценки экологического фонда территории.
2. Разработка историко-географической модели изменения городской территории для оценки антропогенного преобразования.
3. Выявление и анализ основных источников загрязнения на территории для анализа оценки экологических проблем.



Рис. 1. Алгоритм оценки геоэкологического состояния урбанизированных территорий
Fig. 1. The algorithm of geoeological assessment of urban space

Итоговая геоэкологическая оценка будет являться синтезирующим показателем, учитывающим загрязнение сред, степень преобразования природных экосистем, наличие и развитость природно-экологического каркаса (табл. 1). Применяемый подход к оценке удобен для реализации в управлении городом, так как предоставляет синтезирующий инструмент, способный объединить разнородную информацию. С другой стороны, оценка с помощью основных показателей будет стимулировать управленческие решения, ведущие к развитию природно-экологического каркаса, созданию благоприятной среды внутри города и снижению загрязняющих выбросов.

Таблица 1. Группы показателей для оценки геоэкологического состояния
Table 1. Groups of variables for geoeological assessment

Группы показателей	Необходимые источники официальных данных	Обозначение в формуле
Расположение относительно ООПТ	Кадастр ООПТ, данные научных исследований	Поопт
Расположение относительно элементов природно-экологического каркаса	Кадастр ООПТ, Градостроительный кадастр и др.	Ппэк
Расположение относительно стационарных источников выбросов, с учетом их интенсивности	ОВОС, ПДВ, ПДС и др.	Псив
Расположение относительно промышленных предприятий	Картматериалы, ДДЗ и др.	Ппп
Расположение относительно транспортных магистралей, с учетом интенсивности выбросов	Картматериалы, ДДЗ и др.	Пт
Степень антропогенного преобразования	Данные научных исследований и др.	Пап

Для геоэкологической оценки был выбран балльный подход, в котором каждому параметру присваивался балл от 0 до 10. Выбор балльной оценки обусловлен необходимостью сведения величин разной сущности в единый показатель. К примеру, синтезирующий показатель – степень антропогенного преобразования – получается путем суммирования баллов характеризующих площадь ячейки занятую строениями, дорогами, подземными коммуникациями, зелеными насаждениями с показателем, характеризующим возраст урбандошфта. В дальнейшем баллы суммировались в итоговую оценку с учетом коэффициентного значения соответствующего влиянию (вкладу) параметра.

Итоговая оценка приводилась к балльному значению от 0 до 10 и может быть представлена в виде общей формулы:

$$\text{ЭО} = (((\text{Поопт} * \text{К}) + (\text{Ппэк} * \text{К}) + (\text{Псив} * \text{К}) + (\text{Ппп} * \text{К}) + \text{Пт} + \text{Пап} + \text{Пз}) / \text{Пмакс}) * 10,$$

где: **ЭО** – оценка геоэкологического состояния; **К** – весовые коэффициенты показателя; **Пмакс** – максимальная сумма баллов для данной территории; др. показатели приведены в табл. 1.

Для расчета показателей для урбанизированных территорий целесообразно использовать анализ на основе регулярной сетки. Растровый сеточный (grid) анализ в настоящее время применяется достаточно широко [Коновалова, 2011; Кесорецких, Зотов 2012; Haworth et al., 2013; ThiLoi et al., 2015]. Отдельно выделяется система моделирования UrbanSIM [Waddell, 2000, 2002]. Но следует отметить, что анализ на основе векторной сетки (fishnet) имеет свои преимущества, которые сочетаются с возможностями растрового анализа:

1. Использование ячейки сетки, как основы оценки, позволяет проводить крупномасштабный анализ территории;
2. Ячейка может накапливать характеристики, таким образом, выступая аналогом операционной единицы территории;
3. По ячейкам можно проводить кластерный анализ, выделяя закономерно формирующиеся области;
4. Ячейки позволяют анализировать расположение относительно других объектов, плотность и площадь покрытия явления внутри ячейки.

Как показывает международный опыт анализа спутниковых изображений Landsat, наиболее оптимальным для анализа является пространственное разрешение ячейки 30–15 м. Однако даже для небольшой территории, вычисления с таким пространственным разрешением требует высоких вычислительных ресурсов. Поэтому, для исследования города была выбрана сеть с ячейкой размером 50 × 50 м, которая обеспечивает необходимую достоверность и не требует специальных компьютерных ресурсов.

Выполнение оценки геоэкологического состояния по вышеприведенной формуле можно организовать, только объединив разнородные геоэкологические данные, включая научные исследования, в единую инфраструктуру геоэкологической информации [Карандеев, 2007]. На основании реализованных с участием автора информационных проектов можно предложить общую схему организации информации в инфраструктуре геоэкологических данных (рис. 2), которая включает в себя:

- базовые данные в виде баз данных кадастров, генерального плана города, пространственных данных и др.;
- нормативно-экологические данные (ОВОС, тома ПДВ и прочее);
- научно-исследовательские работы, такие как анализ природно-экологического каркаса, оценка экологического состояния и др.



Рис. 2. Схема организации информации в инфраструктуре геоэкологических данных

Fig. 2. Geoecological data infrastructure schematic architecture

Универсальная схема взаимодействия с инфраструктурой геоэкологической данных при выполнении работ подразумевает постоянный информационный обмен всех взаимосвязанных участников проекта. Одним из наиболее важных моментов является открытость информации для пользователей. Как показывает практика создания инфраструктурных проектов в Российской Федерации, к примеру, публичной кадастровой карты, исполнители неохотно идут на создание открытого информационного обмена. Отсутствие открытого информационного обмена может приводить к тому, что проект будет выполнен некачественно и неверные данные поступят в инфраструктуру [FEENEY, 2001]. Поэтому уже на стадии проектирования необходимо различать уровни вовлечения данных. Уровни включения информации в инфраструктуру (табл. 2) различаются по доступности (публичная и ограниченная к доступу) и по полноте информации (метаданные, описательная информация, карты и модели).

Таблица 2. Информационные уровни инфраструктуры геоэкологических данных
Table 2. Levels of information involved in geocological data infrastructure

Уровень включения информации в инфраструктуру	Публичная (открытая) информация	Информация с ограниченным доступом
Метаданные	Электронные каталоги библиотек, публичные сетевые ресурсы	Архивы проектных организаций, промышленных предприятий, органов управления, закрытая информация
Информационный обмен с природными кадастрами и другими информационными инфраструктурами	Публичная кадастровая карта, кадастр ООПТ, лесной план и др.	Инфраструктура пространственных данных, градостроительный кадастр и др.
Научно-исследовательские проекты, не имеющие пространственных данных	Научно-исследовательские проекты, выполненные в вузах и НИИ	Научно-исследовательские проекты, выполненные в вузах и НИИ, выполненные в рамках хозяйственно-договорных работ, ОВОС, ПДВ и др.
Геоэкологические карты, в том числе геоинформационные модели	Научно-исследовательские проекты, выполненные в вузах и НИИ	Научно-исследовательские проекты, выполненные в вузах и НИИ, выполненные в рамках хозяйственно-договорных работ

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Данные о природно-экологическом каркасе и развитии города, а также научные исследования [Аничкина, 2011; Карандеев, 2012; Anichkina et al., 2016], открытые источники базовой и экологической информации позволили сформировать пример инфраструктуры геоэкологических данных. На основе инфраструктуры данных была проведена оценка геоэкологического состояния г. Липецка. Для этого была выбрана территория, охватывающая город и пригороды. Эта территория была разбита на ячейки размером 50 × 50 м (рис. 3). Для каждой ячейки анализировалось антропогенное преобразование площади ячейки, расположение относительно улиц, разделенных по трем категориям (основные, второстепенные и грунтовые), удаленность от основных источников атмосферных загрязняющих выбросов, территорий промышленных предприятий, особо охраняемых природных территорий и элементов природно-экологического каркаса.

Оценка антропогенного преобразования выполнялась по площадной или линейной плотности подземных коммуникаций (канализация, водопровод, кабели и пр.), строений, дорожных сооружений. Дополнительными параметрами выступали тип использования земель и возраст урбанизированных ландшафтов. К сильно преобразованным относится 3,6 % территории (6 300 га). Среднепреобразованных территорий 48,8 % (85 400 га) и слабопреобразованных 47,6 % (83 300 га). В наибольшей степени антропогенному преобразованию подверглись, помимо карьеров и отвалов, территории некоторых промышленных предприятий. В жилитебных районах города также ощущается недостаток природных компонентов.

Оценка геоэкологического состояния Липецка (рис. 3) выполнялась с учетом основных стационарных источников загрязнения. Предприятиями г. Липецка в 2012 г. выброшено в атмосферный воздух 290 тыс. т загрязняющих веществ. Максимальный вклад в загрязнение атмосферы внесли ОАО «НЛМК» – 277,16 тыс. т и ОАО «Липецкцемент» – 9,6 тыс. т.

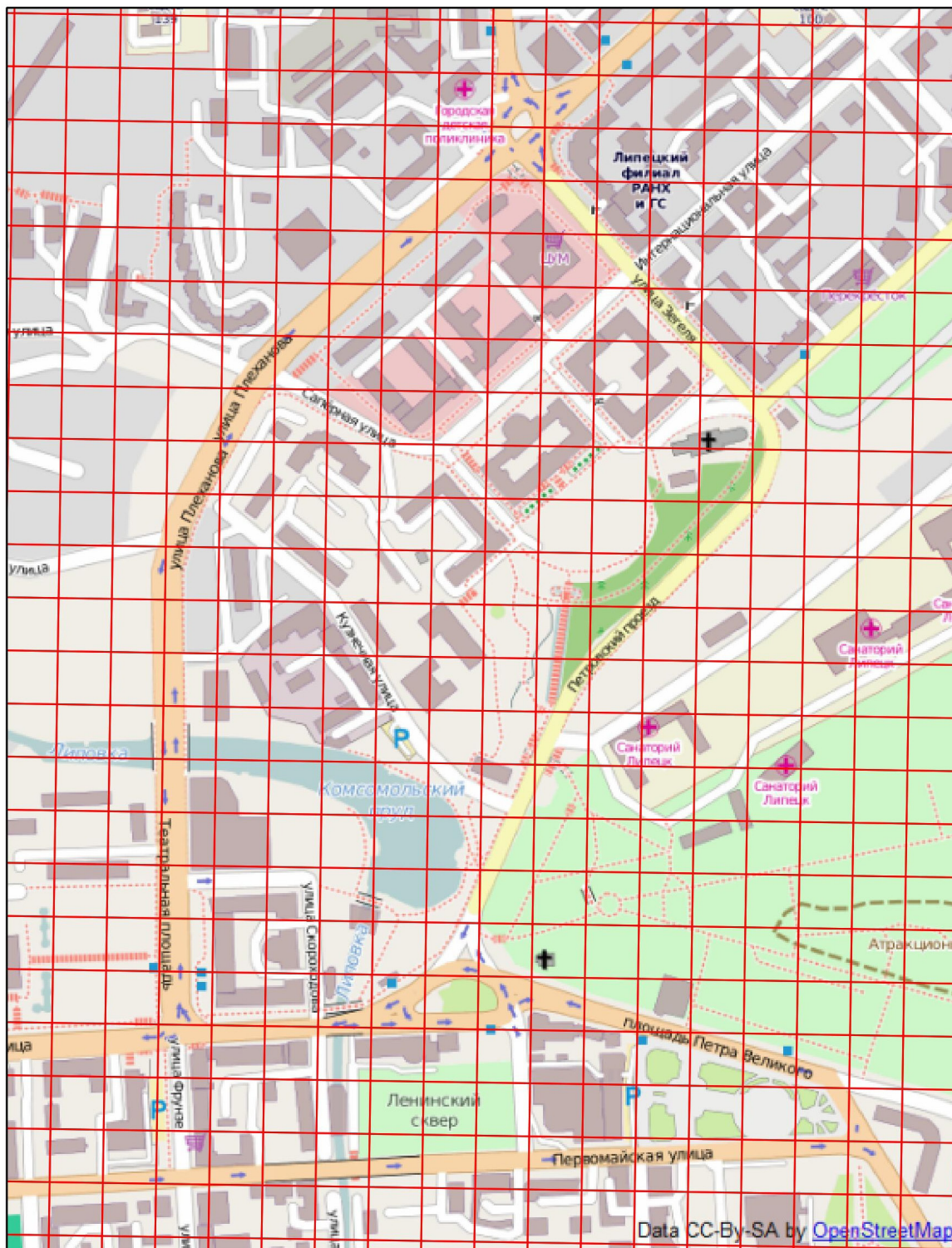
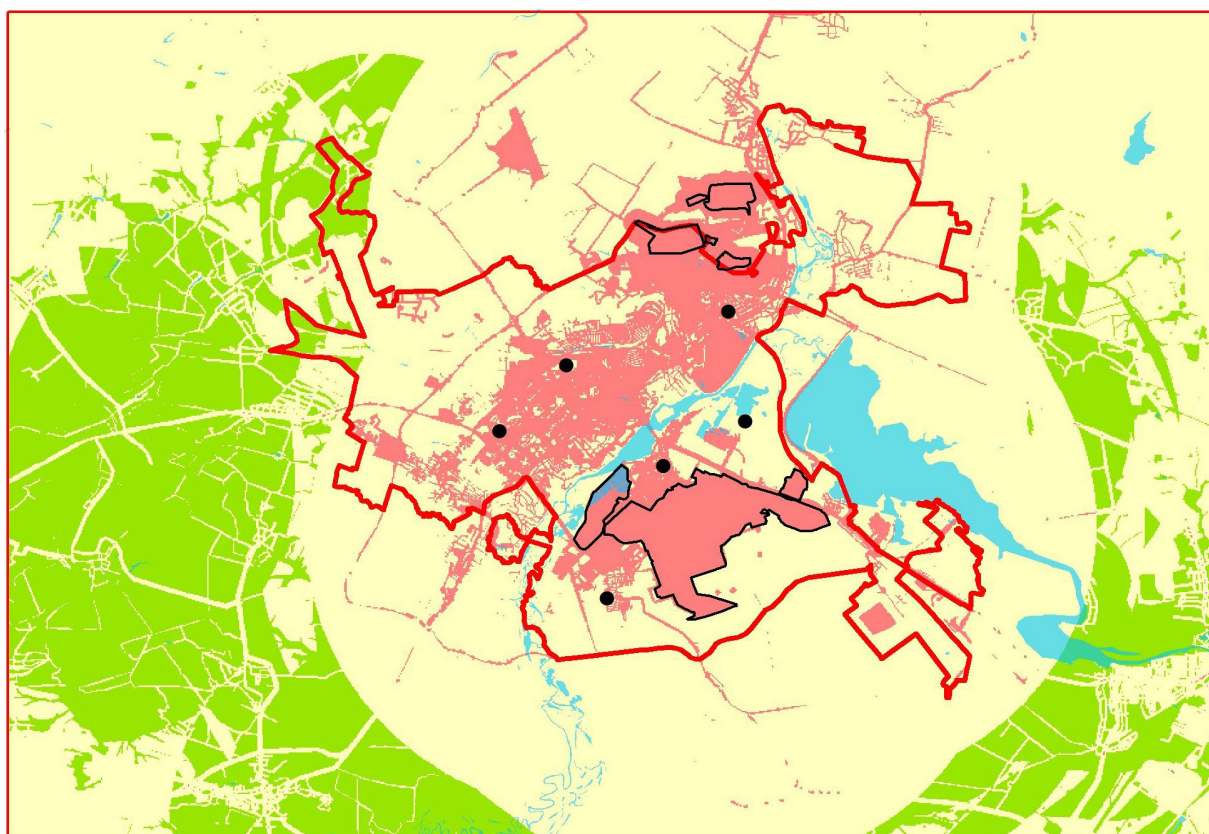


Рис. 3. Покрытие сети 50 × 50 м на центральную часть города
Fig. 3. Coverage of 50 Meters Fishnet on Central of Lipetsk

Также рассматривалось загрязнение от транспорта. Выбросы загрязняющих веществ с отработанными газами в 2012 г. составили 121,4 тыс. т. Большие объемы выбросов загрязняющих веществ и их значительное влияние на геоэкологическое состояние территории позволило использовать весовой коэффициент равный двум для показателей удаленности от источников загрязнения.

Элементы природно-экологического каркаса расположены в основном на левом берегу и обладают большей целостностью структуры. Поэтому для оценки их влияния был также введен коэффициент, равный двум.

Территории с неблагоприятным геоэкологическим состоянием на исследуемой территории составили 9,48 % (16 600 га). К относительно благоприятным могут быть отнесены 21,74 % территории (38 000 га). Удовлетворительное состояние наблюдается у 68,78 % территории (120 400 га).



Условные обозначения:

- Пункты наблюдения атмосферного загрязнения

□ Территории предприятий производящих атмосферные выбросы

Экологическое состояние:

- Неблагоприятное
- Удовлетворительное
- Благоприятное

Рис. 4. Геоэкологическое состояние территории г. Липецка
Fig. 4. Geoeological assessment of Lipetsk

Неблагоприятное геоэкологическое состояние складывается на промышленных и прилегающих к ним территориях левого берега р. Воронеж, а также в центре города. Во многом это обуславливается большими объемами выбросов ОАО «НЛМК».

Центр города не удален в достаточной мере от основного источника выбросов – площадки для охлаждения кокса. Помимо этого основные транспортные потоки проходят через центр и осложняют ситуацию с выбросами загрязняющих веществ. Поэтому, несмотря на наличие ООПТ и большой массив парковой зоны, в центре города геоэкологическое

состояние в целом неблагоприятное. Селитебные территории более мозаичны и их состояние в большей мере определяется степенью антропогенного преобразования и удаленностью от основных магистральных улиц. В центре микрорайонов, как правило, наблюдается удовлетворительное состояние, если внутри них организованы зеленые дворовые территории. Дополнительным положительным фактором являются парки и скверы (рис. 4).

ВЫВОДЫ

Созданная с использованием ГИС-технологий проектная инфраструктура геоэкологических данных и геоинформационные модели г. Липецка – комплексный и эффективный инструмент для учета и анализа экологических социальных и градостроительных проблем урбанизированных территорий. Инфраструктура является альтернативой существующим в городе отраслевым информационным системам, которые не всегда сопоставимы и часто противоречивы. Векторный сеточный ГИС-анализ на основе инфраструктуры геоэкологических данных предоставил возможность оперативно моделировать и оценивать возможные последствия градостроительных и планировочных решений. Методика оценки геоэкологического состояния урбанизированных территорий, включающая ряд последовательных научно-исследовательских процедур (выделение природно-экологического каркаса, создание эколого-исторической модели развития территории и установление основных источников загрязнения городской среды), позволяет выполнить геоэкологическое картирование городского пространства с возможностью прогноза влияния изменений среды города.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аничкина Н.В.* Природно-ресурсное обоснование развития территории города Липецка // Географическое пространство: сбалансированное развитие природы и общества материалы II заочной Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти Т.Л. Ишуковой. 2011. С. 169–178.
2. *Карандеев А.Ю.* Историко-географическая геоинформационная модель развития г. Липецка // Проблемы региональной экологии. М.: ИД «Камертон», 2012. № 3. С. 150–152.
3. *Карандеев А.Ю.* Моделирование средствами ГИС для организации управления городскими территориями на основе ландшафтно-экологического подхода // Материалы Всероссий. науч.-практ. конференции, посвященной 180-летию со дня рождения П.П. Семенова-Тян-Шанского. Липецк: Изд-во ЛГПУ, 2007. С. 92–94.
4. *Кесорецких И.И., Зотов С.И.* Методика оценки уязвимости природных комплексов к антропогенным воздействиям // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2012. Вып. 1. С. 51–57.
5. *Коновалова Н.В., Смиреникова Е.В.* Оценка туристического потенциала территории с применением геоинформационных методов // Arctic Environmental Research. 2011. № 1. С. 13–18.
6. *Кочуров Б.И.* Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории. Смоленск: СГУ, 1999. 154 с.
7. *Кочуров Б.И.* Экодиагностика и сбалансированное развитие: Учебное пособие. М.; Смоленск: Маджента, 2003. 384 с.
8. *Тыкунов В.С.* Геоинформационные экологические системы // Проблемы региональной экологии. М.: ИД «Камертон», 2010. № 2 С. 73–83.
9. *Anichkina N.V., Rostom G.R.* Anthropogenous Ecosystems of Voronezh River Valley. European Journal of Natural History. 2016. No 6. С. 15–17.
10. *Feeney M., Rajabifard A., Williamson I.P.* Spatial data infrastructure frameworks to support decision-making for sustainable development, Proceedings of the 5th Global Spatial Data Infrastructures. 2001. P. 1–15.

11. *Haworth Billy, Eleanor Bruce and Kurt Iveson*. Spatio-temporal analysis of graffiti occurrence in an inner-city urban environment // *Applied Geography*. 2013. V. 38. P. 53–63.
12. *ThiLoi Duong, Pham Anh Tuan, and Kshama Gupta*. Development of an Index for Assessment of Urban Green Spacesat City Level // *International Journal Of Remote Sensing Applications*. 2015. V. 5, No 1. P. 78.
13. *Waddell Paul*. A behavioral simulation model for metropolitan policy analysis and planning: residential location and housing market components of UrbanSim // *Environment and planning B: Planning and Design*. 2000. V. 27, No 2. P. 247–263.
14. *Waddell Paul*. UrbanSim: Modeling urban development for land use, transportation, and environmental planning // *Journal of the American planning association*. 2002. V. 68, No 3. P. 297–314.

REFERENCES

1. *Anichkina N.V.* Natural and Resource Basis for the Development of the Territory of The City of Lipetsk, *Geograficheskoe prostranstvo: sbalansirovannoe razvitie prirody i obshchestva materialy II zaочноj Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj pamyati T.L. Ishukovoj*, 2011. P. 169–178 (in Russian).
2. *Anichkina N.V., Rostom G.R.* Anthropogenous Ecosystems of Voronezh River Valley. *European Journal of Natural History*. 2016. No 6. C. 15–17.
3. *Feeney M., Rajabifard A., Williamson I.P.* Spatial data infrastructure frameworks to support decision-making for sustainable development, *Proceedings of the 5th Global Spatial Data Infrastructures 2001*. P. 1–15.
4. *Haworth Billy, Eleanor Bruce and Kurt Iveson*. Spatio-temporal analysis of graffiti occurrence in an inner-city urban environment. *Applied Geography*. 2013. V. 38. P. 53–63.
5. *Karandeev A.Y.* GIS Modelling for Urban Management which Based on Landscape Ecological Principals, *Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 180-letiyu so dnya rozhdeniya P.P. Semenova-Tyan-Shanskogo*. Lipeck: Izd-vo LGPU, 2007. P. 92–94 (in Russian).
6. *Karandeev A.Y.* Historical Geographical GIS model of Lipetsk development, *Problemy regional'noj ehkologii*. M.: ID «Kamerton», 2012. No 3. P. 150–152 (in Russian).
7. *Kesoreckih I.I., Zotov S.I.* Methodology of Assessment of Natural Complexes Sensitivity to Anthropogenic Impact, *Vestnik Baltijskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta*. 2012. V. 1. P. 51–57 (in Russian).
8. *Kochurov B. I.* *Ecological Diagnostics and Balanced Development*. M.; Smolensk: Madzhenta, 2003. 384 p. (in Russian).
9. *Kochurov B.I.* *Geocology: Ecological Diagnostic and Ecological and Economic Balance of the Territory*, Smolensk: SGU, 1999. 154 p. (in Russian).
10. *Konovalova N.V., Smirennikova E.V.* Geoinformation Approaches to the Tourist Potential Evaluation of the Arkhangelsk Region, *Arctic Environmental Research*. 2011. No 1. P. 13–18 (in Russian).
11. *ThiLoi Duong, Pham Anh Tuan and Kshama Gupta*. Development of an Index for Assessment of Urban Green Spacesat City Level. *International Journal Of Remote Sensing Applications*. 2015. V. 5.1. P. 78.
12. *Tikunov V.S.* Environmental Geoinformation Systems, *Problemy regional'noj ehkologii*. M.: ID "Kamerton", 2010. No 2. P. 73–83 (in Russian).
13. *Waddell Paul*. A behavioral simulation model for metropolitan policy analysis and planning: residential location and housing market components of UrbanSim. *Environment and planning B: Planning and Design*. 2000. V. 27, No 2. P. 247–263.
14. *Waddell Paul*. UrbanSim: Modeling urban development for land use, transportation, and environmental planning. *Journal of the American planning association*. 2002. V. 68, No 3. P. 297–314.