

УДК 712 (476.5)

А. Б. Торбенко¹, Е. В. Соколовский², А. Н. Галкин³, В. В. Кривко²

¹ст. преподаватель каф. экологии и охраны природы
Витебского государственного университета имени П. М. Машерова

²студент биологического факультета
Витебского государственного университета имени П. М. Машерова

³д-р геол.-минерал. наук, проф., проф. каф. географии
Витебского государственного университета имени П. М. Машерова

e-mail: torbenko_a@mail.ru

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКОЛОГО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЗОНИРОВАНИЯ ВИТЕБСКА НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Эколого-функциональное зонирование – один из важнейших аспектов градостроительной деятельности, для его проведения требуется учет многочисленных параметров и нормативов. Предлагается использовать для этого искусственную нейронную сеть, которая позволяет на основе информации из различных сетевых источников максимально адекватно относить те или иные территории к определенным функциональным зонам. В процессе использования искусственной нейронной сети существует ряд проблем (наличие операций, требующих ручного решения; значительные ресурсы, требуемые для осуществления операций; относительно медленное «обучение» сети), однако в результате формируется система, которая в наибольшей степени отвечает запросам исследователя и может использоваться для решения аналогичных задач на других территориях. Приводится пример успешного применения данной методики для выделения селитебной зоны Витебска.

Введение

В соответствии с целями градостроительного планирования развития населенных пунктов в Республике Беларусь обособляются территории:

- 1) градостроительного развития населенных пунктов;
- 2) размещения садоводческих товариществ и дачных кооперативов;
- 3) сельскохозяйственные;
- 4) лесохозяйственные;
- 5) природоохранных и рекреационных зон;
- 6) специального назначения.

В границах городской черты по преимущественному функциональному использованию земель выделяют следующие зоны: жилые, общественно-деловые, производственные, транспортной и инженерной инфраструктуры, рекреационные, сельскохозяйственные, специального назначения, а также территории общественного пользования [1].

Функциональное зонирование как одна из важнейших составляющих градостроительного регулирования представляет собой инструмент территориального развития, в котором определяются границы, функциональное назначение, режимы и регламенты использования зон на основе выявленных в процессе анализа территории участков, однородных по природным признакам и характеру хозяйственного использования. Зонирование территорий осуществляется в целях установления единого порядка градостроительного освоения земельных участков, создания долгосрочной основы организации среды обитания, планирования инвестиций в строительство и выполняется на основании планов зонирования территорий. Современная система функционального зонирования урбанизированных территорий определяется рядом законодательных и нормативных документов, среди которых Законы Республики Беларусь «Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности» и «Об охране окружающей среды» [2], ТКП 45-3.01-116-2008 (02250) «Градостроительство. Населенные пункты. Нормы планировки и застройки» [3].

Определенные особенности существуют в системе зонирования, предлагаемой земельно-информационной системой страны, генеральными планами конкретных городских поселений. Даже поверхностный анализ указанных источников демонстрирует определенное несоответствие между имеющимися системами зонирования (таблица). Кроме того, существующая и перспективная система функционального зонирования должна не только преследовать цели оптимизации порядка градостроительного освоения земельных участков с экономической и хозяйственной точки зрения, но и определять пути формирования в городах среды жизни, отвечающей всем экологическим требованиям, указывать на несоответствия в существующей территориальной системе использования городских земель их геоэкологическими возможностями [4].

Поэтому мы предприняли попытку проведения эколого-функционального зонирования на примере территории Витебска – крупного промышленного и культурного центра со сложной инфраструктурой. Зонирование объединяет разные по функциональному назначению участки с целью определения реальных границ ныне существующих функциональных зон, а также их соответствия важнейшим экологическим нормативам. В процессе работы последовательно решались следующие задачи:

- 1) определение основных типов эколого-функциональных зон урбанизированных территорий и их соответствия имеющимся системам зонирования;
- 2) выделение границ эколого-функциональных зон на территории г. Витебска с помощью искусственной нейронной сети (ИНС) и геоинформационных систем (ГИС);
- 3) анализ соответствия существующего зонирования территории города в рамках генплана выявленным эколого-функциональным особенностям.

Результаты исследований

В связи с тем, что важнейшей с точки зрения комфортности и «экологичности» городской среды для человека является селитебная зона, алгоритм зонирования рассмотрим на ее примере.

Искусственная нейронная сеть представляет собой совокупность компьютеров и взаимосвязей между ними, позволяющую производить большие объемы вычислений и осуществлять машинное обучение и самообучение.

В качестве исходных данных для проведения функционального зонирования были выбраны карты открытых сетевых ресурсов. Для определения четких границ дорог и тротуаров и общей оценки используемости территории были использованы данные Google Earth. Для определения расположения зданий и определения фактических адресов объектов была выбрана карта Open Street Map. Для определения нахождения различных организаций и предприятий был использован сервис Yandex Maps.

За основу структуры искусственной нейронной сети была принята архитектура, разработанная в 2007 г. Дж. Хинтоном [5]. Тем не менее структура ИНС была значительно доукомплектована модулями самообучения различных принципов функционирования. Основным в процессе работы ИНС был принят модуль множественных рандомизированных отклонений с фиксированным диапазоном.

Обучение искусственной нейронной сети с малым исходным массивом данных представляет собой циклический процесс, состоящий из следующих стадий:

- 1) анализ исходной схемы зонирования (включает в себя определение координат всех узлов полигонов, определение коэффициентов значимости);
- 2) внесение информации в хранилище ИНС;
- 3) запуск ИНС в режиме обучения;
- 4) получение 127 различных версий схем функционального зонирования;
- 5) анализ соответствия схем зонирования реальным условиям;
- 6) ранжирование пяти лучших схем по степени правильности.

Таблица. – Соотношение различных систем зонирования на примере природных территорий, подлежащих специальной охране

Эколого-функциональное зонирование		Генеральный план Витебска	Закон о градостроительной деятельности	Закон об охране окружающей среды	ЗИС	ТКП		
Природные территории, подлежащие специальной охране	Особо охраняемые природные территории			Особо охраняемые природные территории		Ландшафтно-рекреационные территории	Особо охраняемые природные территории	
	Рекреационные зоны		Природоохранные и рекреационные зоны	Курортные зоны, рекреационно-оздоровительные и защитные леса			Рекреационные территории пригородных зон	
	Лесохозяйственные зоны		Лесохозяйственные зоны	Лесополосы и полосы кустарников и др.	Лесопокрытые территории и т. д.			
	Водоохранные зоны водоемов и водотоков	Водоохранные зоны			Зоны водоемов и водотоков, болота			
	Собственно водоемы и водотоки				Озера, реки, пруды и т. д.			
	Внутригородское озеленение	Пригородные зоны отдыха, озеленения общего пользования			Озелененные территории, парки, скверы			Озелененные территории населенных пунктов
	Места произрастания редких растений			Места обитания диких животных и места произрастания дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь				
	Территории, значимые для поддержания микропопуляций животных							
Иные территории			Иные территории, для которых установлен специальный режим охраны и использования					

Стоит отметить, что пункты 1 и 2 требуют ручного выполнения условно до 150-го цикла обучения, т. к. на данных этапах не сформированы основные системы самоконтроля и самообучения ИНС. Ориентировочно после 150-го цикла обучения ИНС становится способна к самостоятельному анализу информации и ее усвоению без посторонней помощи (рисунок 1).

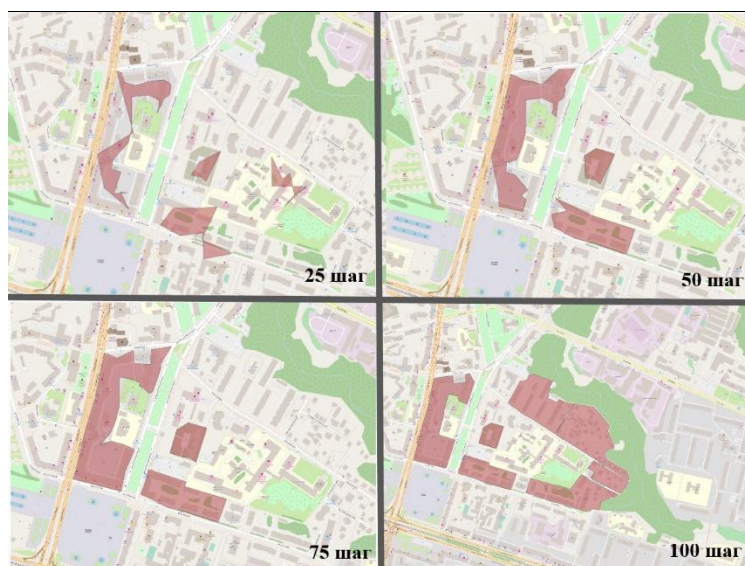


Рисунок 1. – Пошаговый цикл обучения искусственной нейронной сети

Для обеспечения влияния критериев выделения зон на процесс обучения каждому фактору, помимо его скриптовой составляющей, определяющей координаты точек узлов полигона, был присвоен коэффициент значимости фактора, который определял, насколько данный критерий для конкретной территории значим. На основании этого в процессе обучения нейросети использовался коэффициент рандомизации – отклонения координат узлов полигона от первоначальной позиции. При этом коэффициент рандомизации обратно пропорционален сумме коэффициентов значимости факторов для каждого объекта. Величина и вектор отклонения координат узлов полигонов генерировались классическими алгоритмами псевдослучайных чисел, вектор отклонения имел только одну фиксированную точку с координатами эталонного на данном шаге узла, в то время как величина диапазона выбора псевдослучайных чисел, характеризующих величину отклонения, ограничивалась через ряд преобразований общим коэффициентом значимости объекта, определяемым суммой коэффициентов значимости каждого фактора с привязкой к конкретному объекту.

Для обучения ИНС процессу выделения селитебной зоны Витебска был определен ряд топографических и социальных факторов.

Топографические факторы. Для уменьшения количества одновременно используемой серверной мощности было принято решение о применении квартальной системы. В данном случае в качестве главного параметра для определения границ жилой зоны используется сетка дорог.

К топографическим факторам относится также и фактическое расположение зданий, определяемое совместно по источникам от Google Earth и Open Street Map. Важным параметром для выделения зоны как селитебной является обозначение конкретного здания как жилого. Определение здания как жилого происходило после определения адреса и формирования запроса к информационным ресурсам. Далее по ряду ключевых

слов вычислялся критерий жилой используемости здания: если он составлял более 0,5, здание относилось к жилым объектам, а зона вокруг него – к селитебной территории.

Определение критерия осуществлялось путем выборки ключевых слов из запроса к информационным ресурсам. Так, например, если ответ на запрос предлагал помимо адреса здания номер квартиры, то такое здание автоматически получало значение критерия 0,95. Третьим по значимости фактором является непосредственное отношение территории к микрорайонам города.

Четвертым фактором, определяющим точные границы жилых зон, стало расположение тропинок, пешеходных дорожек и тротуаров, которые также ранжировались по степени значимости в зависимости от ширины: чем выше значимость, тем выше вероятность того, что нейросеть определит тропинку границей зоны.

Пятым фактором, определяющим границы селитебной зоны, стали резкие изменения графической информации на протяжении одной горизонтали при распознавании растра. Иными словами, пятым фактором является резкая смена биотопа или зоны города. Так, границы жилых зон в некоторых случаях определяются границами лесных массивов, дорогами, водоемами и проч.

Шестым фактором является буферность. В случае когда определение границ жилых зон невозможно по четырем вышеупомянутым факторам, определение жилой зоны происходит путем выделения буферной зоны вокруг здания. Ширина такой зоны для районов с многоэтажной застройкой составляет 40 м, а для районов с одноэтажной застройкой и дачных кооперативов – 100 м. Однако данная зона может быть ограничена другими объектами, например реками, ручьями, крупными транспортными путями, территорией организаций производственного, административного и иного характера.

Социальные факторы. В определении функциональных зон города огромную роль играют социальные факторы. К таковым относится субъективное восприятие человеком определенной территории как жилой.

С целью отхождения от квартальной системы установления жилых зон было принято решение объединять зоны соседних кварталов, если дороги между ними отвечают ряду условий, при которых их можно отнести к жилой зоне в случае их непосредственного примыкания к объектам селитебного типа. К дорогам внутриселитебного типа относятся дороги:

- 1) реальная ширина которых не превышает 4 м (определяется по спутниковым картам);
- 2) оборудованные тротуаром шириной менее 1,2 м;
- 3) имеющие грунтовое покрытие;
- 4) определенные ИНС как малоиспользуемые (каждой дороге присваивается определенный индикатор используемости, и если он оказывался ниже 1,01, то данный участок дороги относился к малоиспользуемому).

Взаимоисключение областей. В случаях когда относительное расположение различных зон города предполагает их взаимное пересечение или взаимоисключение, встает вопрос о присвоении статуса определенной территории. Можно выделить несколько основных типов спорных ситуаций, решение которых может носить двойственный характер. К таковым относятся пересечения:

- 1) жилых и транспортных зон на границах дорог, тротуаров;
- 2) жилых и транспортных зон в границах дорог с различным уровнем загруженности;
- 3) торговых, социально-административных и жилых зон на территории зданий, имеющих множественное назначение;
- 4) рекреационных и природоохранных зон на территории исторически сложившихся мест отдыха населения;

5) природоохранных зон с зонами различного назначения, не исключаящими возможность ведения хозяйственной и иной деятельности;

6) природоохранных зон с зонами повышенного экологического риска, а также с зонами, на территории которых расположены объекты, потенциально или реально причиняющие значительный вред состоянию окружающей среды;

7) зон историко-культурной значимости, рекреационных и жилых зон;

8) пешеходных и автомобильных транспортных подзон.

Остановимся подробнее на каждом из типов пересечения зон. Решение данной проблемы предполагает определение точных параметров, по которым можно выделить, какая именно часть дороги будет относиться к селитебной зоне, а какая – нет.

За основу принятия решений такого рода была выбрана система, при которой учитывается ширина тротуара и его близость к жилым постройкам. При этом был введен ряд условий, при выполнении любого из которых территория тротуара присоединялась к граничащей с ней зоне:

1) тротуар имеет ширину меньше 1,2 м и отстает по всей длине квартала от стен жилых зданий не более чем на 10 м. (отсчет расстояния проводится по границе тротуара, которая находится ближе к стене здания);

2) тротуар имеет ширину до 2 м и отстает по всей длине квартала от стен жилых зданий не более, чем на 25 м при отсчете от ближней к стене здания границы тротуара;

3) пешеходная дорожка отделена от проезжей части зеленой полосой и имеет ширину до 1,5 м;

4) пешеходная дорожка конструктивно не является частью дороги, обозначена дорожными знаками «Пешеходная дорожка» или «Пешеходная зона», но имеет ширину менее 1,5 м.

Если тротуар или пешеходная дорожка не соответствуют заданным параметрам, то их территория присоединяется к соседней транспортной зоне, а при ее отсутствии – выделяется в отдельную пешеходную транспортную подзону.

Пересечение жилых и транспортных зон в границах дорог с различным уровнем загруженности. Для определения степени загруженности дорожной сети в локальном масштабе было принято решение ввести показатель используемости дорог, который в процессе работы преобразовывался в число – индикатор используемости дорог. Определение индикатора используемости происходило при помощи сервиса Yandex пробки. Сервис позволяет отслеживать в режиме реального времени нагрузку на транспортную систему. Он имеет условное обозначение участков дорог с разной степенью загруженности с использованием трех цветов: зеленого, желтого и красного.

Для определения индикатора загруженности ИНС была настроена на мониторинг дорожной обстановки в районе проведения зонирования. При этом каждые 5 минут регистрировались данные по каждому участку дорог. Если его условное обозначение оставалось зеленым, в систему регистрации к данному объекту с отметкой времени применялся параметр 1, при желтом уровне – 2, а при красном – 3. Определение индикатора загруженности дорог проходило на протяжении двух недель, кроме праздников и дополнительных выходных дней. Конечное значение индикатора для каждого конкретного участка дороги определялось путем нахождения среднего арифметического индикаторных записей за две недели.

При значении индикатора используемости дороги ниже 1,01 участок присоединялся к территории примыкающих селитебных областей, объединяя два полигона в один.

Пересечение торговых, социально-административных и жилых зон на территории зданий, имеющих множественное назначение. Зачастую на карте города обнаруживаются объекты, используемые одновременно и как торговые точки, и как

жилые помещения. В отдельных случаях возможно взаимное пересечение торговой и социально-административной, жилой и социально-административной зон.

С целью предотвращения неверной трактовки данных было принято решение об определении ряда параметров, при комбинации которых можно определить, будут ли зоны четко разграничены, отнесены только к одному типу или существует необходимость в их совместном выделении путем наложения двух зон на одну местность:

- 1) расположение объекта в местах концентрации объектов торгового назначения;
- 2) расположение объектов в местах концентрации жилых объектов;
- 3) расположение объектов вдоль проспектов;
- 4) расположение объектов вдоль мало- и среднеиспользуемых улиц;
- 5) конструкция здания предполагает отдельные стилистические и структурные компоненты для жилых и торговых зон (пристройки, надстройки, отдельные здания, имеющие общие или близкорасположенные стены).

По каждому конкретному объекту можно установить соответствие одному или нескольким параметрам. По данному соответствию принимается решение об отнесении зоны к определенному типу. В случае, если невозможно применение любого из предложенных шаблонов параметров к объекту, он помечается как объект неизвестного назначения, после чего необходимо его ручное определение.

В результате применения предложенного алгоритма нами получены границы селитебной и других эколого-функциональных зон, отражающие реальную ситуацию, сложившуюся сегодня на территории Витебска. Первичный анализ соответствия выделенных селитебных территорий существующему генеральному плану города, проведенный средствами ГИС, выявил ряд участков, развитие которых в качестве селитебных вызывает много вопросов (рисунок 2).



Рисунок 2. – Несоответствие границ селитебной зоны, выделенной искусственной нейронной сетью, в сравнении с источниками открытого доступа

Заключение

Таким образом, на данном этапе исследований нами определен инструмент, который позволяет наиболее объективно выделять территории с различным функциональным назначением, что является основой проведения обоснованного эколого-функционального зонирования города.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Беларусь [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь, 5 июля 2004 г. № 300-З : с изм. и доп. : [текст по состоянию на 21.07.2016] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Режим доступа: <http://www.pravo.by>. – Дата доступа: 27.02.2019.
2. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь, 26 нояб. 1992 г. № 1982-ХП : с изм. и доп. : [текст по состоянию на 21.07.2017] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Режим доступа: <http://www.pravo.by>. – Дата доступа: 27.02.2019.
3. Градостроительство. Населенные пункты. Нормы планировки и застройки : ТКП 45-3.01-116-2008 (02250). – Введ. 28.11.08. – Минск : Минстройархитектуры, 2009. – 64 с.
4. Богданов, Н. А. Экологическое зонирование. Научно-методические приемы / Н. А. Богданов. – Астрахань : Едиториал УРСС, 2005. – 176 с.
5. Николаенко, С. И. Глубокое обучение / С. И. Николаенко, А. А. Кадуренко, Е. А. Архангельская. – СПб. : Питер, 2018. – 480 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 25.03.2019

Torbenko A. B., Sokolovskiy E. V., Galkin A. N., Krivko V. V. Conducting Ecological-Functional Zoning of Vitebsk on the Basis of an Artificial Neural Network

The presence of differences, according to various sources, in the definition of the city's ecological-functional zones hinders the development of urban planning. The authors of the article propose to use an artificial neural network, which allows, based on information from various network sources, to most accurately identify the boundaries of the territories of different functional areas. Regardless of the problems that arise, the artificial neural network is a fast and simplified tool for the distribution of functional zones. In this article you can follow the selection of the most accurate zoning boundaries on the example of the residential area of Vitebsk.