

УДК 528.94

Д. В. НОВИКОВ, Е. В. СОКОЛОВСКИЙ

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ ГЕОГРАФИИ ГНЕЗДОВЫХ
ТЕРРИТОРИЙ ПТИЦ**

*УО «Витебский государственный университет им. П. М. Машерова»,
г. Витебск, Республика Беларусь,
novikau.d@mail.ru*

Одним из ведущих направлений изучения орнитофауны является исследование гнездовых территорий. Геоинформационные системы в этом плане незаменимый помощник позволяющий анализировать географию и характеристики местообитаний птиц. Использование нейросетевого анализа в таких исследованиях позволяет автоматизировать ряд операций по выделению наиболее типичных биотопов для исследуемых видов орнитофауны, отрисовке занятых птицами участков и выявлению потенциальных мест гнездования.

Исследование хищных птиц, занесённых в Красную книгу Республики Беларусь основывается на изучении гнездовых территорий. Для выделения участков, занимаемых птицами, используют инструментарий геоинформационных систем. Но при таком пути отрисовки возникают проблемы с выделением границ, а именно с интерпретацией космических снимков. Решением этой проблемы может стать использование алгоритма автоматического картографирования.

Цель работы – протестировать алгоритм автоматизированного картографирования в изучении гнездовых территорий хищных птиц.

Программная часть алгоритма базируется на геоинформационной платформе *QGis*. В роли источников картографической информации определены: 1. *Landsat* – получение данных о сетке дорог и объектах, ограничивающих возможности автоматического распознавания дорог (проективное перекрытие зданиями, кроны деревьев, перекрывающие дорогу и др.). 2. *Stamen* – получение первичных данных о расположении дорог, определение зоны рабочего охвата нейросети. 3. *Yandex* и *MapSurfer* – вторичное уточнение данных о расположении дорог. 4. *Google Earth* – определение фокальных точек карты, финальное уточнение положения ключевых участков дорожной сетки.

Создание растровой основы осуществляется при помощи программного обеспечения *SAS* Планета и заключается в сшивке заранее кешированных тайлов карты из открытых сетевых источников.

Для формирования базовых векторных слоёв применена искусственная нейронная сеть Garpiá, разработанная в среде программирования *Python*. Нейросеть устроена по классическому «хинтоновскому» типу с рядом дополнений. Добавлены возможности обхода отдельных уровней нейросети в случае четких соответствий определяющих параметров объекта. В случае отсутствия таковых, обработка объекта происходит по классическому пути.

Алгоритм действия комплекса выглядит следующим образом. На этапе первичной трассировки средствами искусственной нейронной сети осуществляется векторизация по картам-схемам и данным ДЗЗ. Этап коррекционного анализа позволяет проверить созданную первичную векторную структуру на соответствие расположения векторных объектов их реальному расположению на растрах ДЗЗ, а в случае несоответствия – внести корректировки в весовые коэффициенты ИНС. Данный этап осуществляется автоматически. Также определяется степень отклонения каждого выделенного объекта от его позиции по данным ДЗЗ. В случае, если отклонение хотя бы одного объекта превышает установленные параметры, проводится вторичная трассировка. Данный процесс имеет циклический характер и простирается до тех пор, пока отклонение всех объектов карты не окажется в заданном диапазоне.

Последним этапом создания набора векторных слоёв является модерирование – процесс визуального поиска несоответствий и областей карты, подвергнутых искажению в связи с некорректной работой ИНС, а также устранение этих искажений в ручном режиме.

Конечное определение районов осуществляется на основе многоступенчатого преобразования первичного набора векторных слоёв карты, на которой представлены данные о строениях, сетке дорог, гидрографии, расположения зеленых насаждений и ряда топографических данных. При этом карта формируется на основе сгенерированных буферных зон вокруг каждого объекта карты. Близкие, примыкающие и пересекающиеся буферные зоны объектов одного типа и подтипа, объединяются при этом в один результирующий полигон. Зоны пересечения объектов разных типов помечаются как территории, требующие особой обработки. На этом этапе формирование вторичной карты-схемы завершается.

Третичная карта-схема формируется путем программного разрешения спорных ситуаций распределения территорий в ранее обозначенных конфликтных зонах. Алгоритм разрешения данных конфликтов требует дальнейшей разработки.

Четвертичная карта формируется на основе третичной путём уточнения границ территорий по ряду параметров, не затрагивающих конфликтные территории, а работающих только в пределах «свободных» границ территорий. Финальная карта формируется путём ручного модерирования четвертичной карты с целью устранения возможных ошибок генерации и артефактов.

Базовые материалы для создания карт и районирования – это сервисы «*Yandex карты*» (формирование первичной области охвата работы искусственной нейронной сети) и «*Google Earth*» (формирование точных границ зон древесных насаждений, выделение проективных зон малых скоплений растительности, определение водных объектов). Также это цифровые топографические карты, созданные ранее студентами и преподавателями нашего университета, материалы Полоцкого и Шумилинского лесхозов о растительном покрове и характере исследуемых биотопов. На основе этой информации и происходила конкретизация границы болота и района исследований.

В процессе работы использованы возможности ряда ГИС-платформ, однако ведущей по ряду критериев избрана *QGIS* – базовая ГИС-платформа, включающая, помимо основного пакета инструментов, следующие модули:

- а) *HCMGIS* – получение растровых данных из открытых сетевых источников;
- б) *QuickMapServices* – получение растровых данных из открытых сетевых источников;
- в) *Digitizing Tools* – набор инструментов оцифровки, подключаемый в ИНС;

г) *Clipper* – предоставление инструментов оперативной обрезки полигональных слоёв по заданным параметрам (в ИНС отсутствует возможность обрезки полигональных объектов. В случае необходимости данной процедуры ИНС создаёт слой корректировок, который и служит негативно-масочным слоем для обрезки с помощью данного модуля).

Кроме геоинформационного блока в алгоритме задействованы:

1. *Garpia Core* – основное ядро модульной структуры искусственной нейронной сети;
2. *Garpia Connect* – модуль коммуникации, обеспечивающий трансляцию данных и команд между компьютером, на котором установлена ГИС-платформа, и сервером, на котором производятся вычисления искусственной нейронной сети;
3. *Garpia Tree* – Модуль ИНС, непосредственно определяющий границы насаждений древесной растительности.

Автоматизированное выделение гнездовых территорий, можно разделить на следующие этапы: 1) подготовка растровых данных; 2) первичный анализ растровых данных; 3) вторичный анализ растровых данных; 3) модерация результатов.

В случае недостоверных результатов, возможно проведение следующих этапов, которые могут быть проведены неограниченное количество раз по циклу: 1) маркировка недостоверных областей; 2) повторный анализ выделенных территорий; 3) вторичная модерация.

Подготовка растровых данных. Данный этап подразумевает создание на базе *Yandex* карт полигонального слоя зоны работы ИНС. Выбор данного источника информации обусловлен высокой контрастностью зон открытых участков болота по отношению к остальным территориям. Однако использование данных материалов не всегда невозможно по причине низкой информативности растра в отношении зеленой части его спектра.

Из растровых данных *Google Earth* осуществляется разбивка на 4 растровых слоя по составным частям спектра: зеленый, красный, синий каналы и яркостные данные.

Первичный анализ. На данном этапе осуществляется разбивка всего растра на участки гексагональной формы с длиной ребра в 12 пикселей. Далее ИНС, на основе данных обучения по тегированным участкам, определяет наличие в отдельных гексагонах открытых участков болота. Также на основе данных слоя яркости растра с учётом метаданных (время съёмки конкретного тайла карты, положение спутника относительно точки съёмки) определяется, где это возможно, длина тени объектов. Те гексагоны, где провести данную операцию невозможно, помечаются отдельным тегом.

Вторичный анализ. На данном этапе осуществляется сразу несколько операций, приводящих в итоге к формированию полигонального слоя. Первым выполняется алгоритм поиска и агрегации в датабоксы пикселей, принадлежность которых определена нейросетью к болоту. Степень частичного захвата пикселей на пограничных участках зон болота определяется вероятностным коэффициентом отношения.

Зоны, для которых оказалось невозможным проведение полного комплекса анализа, проходят упрощенную его версию. В дальнейшем эти объекты будут выделены в отдельный полигональный слой для ручной модерации и тегирования.

Ручная модерация. Данный этап является необходимым звеном в системе обучения ИНС. Он включает в себя как визуальную оценку результатов работы, так и тегирование спорных областей. Кроме того, осуществляется визуальный контроль работы ИНС в областях, не помеченными как проблемные. В результате данных работ вручную формируется полигональный слой территорий, требующих корректировки весовых коэффициентов ИНС, который загружается в директорию файлов обучения ИНС. Данный слой будет использован в следующем цикле работы нейросети.

Результатом работы ИНС является карта-схема болота Оболь.

Далее следует этап районирования территории по занимаемым птицами биотопам. В этом случае алгоритм использует данные топографических карт рельефа. На данном

материале ИНС делит территории на гряды (выпуклые элементы рельефа) и мочажины (отрицательные элементы рельефа). Разделив их, мы приступаем к обучению ИНС для чтения основных биотопов: грядово-озёрный комплекс, грядово-мочажинный комплекс, сосновая рощица, сосняк багульниковый, сосняк сфагновый. Как только ИНС обучилась распознавать их, мы приступаем к недавно проделанной работе и повторяем её до тех пор, пока на болоте не будут выделены биотопы. Обученная ИНС также автоматически создаёт и заполняет базу данных. Результатом этого процесса является карта схема болота Оболь с типичными биотопами на ней.

Имея полностью готовую карту болота, мы приступаем к выделению гнездовых территорий. Модельной птицей будет Дербник (*Falco columbarius*), как один из представителей хищных птиц, занесённых в Красную книгу Республики Беларусь. Зная точные координаты 17 гнёзд найденных на болоте Оболь мы добавляем их на нашу карт-схему. Гнёзда располагаются группами, которые в будущем станут гнездовыми территориями. В начале, надо задать группы гнёзд чтобы ИНС знала, что отрисовать. Данное болото имеет 5 гнездовых территорий.

Алгоритм, который использует ИНС достаточно прост. ИНС находит центроиды для групп точек гнездования. Этот процесс происходил по следующей схеме. Зная, что 1 км представляет собой минимальное расстояние, которое может быть между парами, то необходимо построить одну буферную зону для каждого гнезда в одной гнездовой территории с радиусом 500 м. После присваивает буферным зонам координаты. Теперь необходимо вычислить расстояние, которое будет являться радиус гнездовой территории. На данном болоте радиус буферной зоны получился около 1,6 км. Вычисление радиуса происходит по такой схеме. Выбираются гнёзда за различные года и строятся к ним буферные зоны с радиусом 1,6 км. При правильно построенной территории, ни одна гнездовая территория не заходит на другую. Если же ошибка была допущена, то ИНС перестраивает территории до тех пор, пока результат не будет удовлетворять условию. В итоге мы получаем карт-схему болота с гнездовыми территориями.

Кроме построения имеющихся территорий, ИНС может выделять места, на которых могут располагаться новые гнёзда птиц. ИНС действует по следующему принципу. Анализируя имеющуюся информацию по 17 гнёздам, в которых гнездились 42 пары за разные года, ИНС выбирает те гнёзда, в которых проживало и вывелось максимальное число птиц. Далее она смотрит в каком биотопе это гнездо расположено и далее ищет на болоте такой же биотоп. Затем на найденных биотопах ИНС пробует построить гнездовую территорию по вышеизложенному алгоритму и, если все критерии соблюдаются она отмечает эту территорию как наиболее вероятную для нахождения новых гнёзд.

Таким образом, тестируемый алгоритм картографирования гнездовых территорий хищных птиц демонстрирует отличный результат. По итогу его работы были отрисованы границы модельного болота Оболь, выделены в нём биотопы, а также отрисованы гнездовые территории хищных птиц.

D. V. NOVIKOV, E. V. SOKOLOVSKY

*USING AN AUTOMATED MAPPING ALGORITHM
FOR ANALYZING THE GEOGRAPHY OF BIRD NESTING TERRITORIES*

One of the leading areas of study of birds of prey is the study of nesting territories. Geoinformation systems in this regard are an indispensable assistant that allows you to analyze the territories occupied by birds. The use of neural network analysis in such studies makes it possible to automate a number of operations to identify the most typical biotopes for the studied avifauna species, draw areas occupied by birds, and identify potential nesting sites.