

И.А. Ембаев (ООО «Курган-Охота»)

В 1988 г. окончил Иркутский сельскохозяйственный институт по специальности «биология (охотоведение)». В настоящее время – штатный охотовед ООО «Курган-Охота».

А.В. Абросимов (Компания «Совзонд»)

В 1992 г. окончил географический факультет Удмуртского государственного университета по специальности «география». Работал руководителем вузовско-академической лаборатории Курганского государственного университета и Института географии РАН. В настоящее время – заместитель главного инженера компании «Совзонд». Кандидат географических наук.

Инвентаризация охотничьих угодий по результатам классификации мультиспектральных изображений

Как это ни парадоксально в эпоху покорения космоса и развития нанотехнологий, последним со времени изобретения кульманов и ризографов «революционным» решением при разработке некоторых проектных материалов, содержащих пространственную информацию, до сих пор остается использование текстовых редакторов и электронных таблиц. Такая технология еще нередко применяется и при создании проектов внутрихозяйственного устройства охотничьих хозяйств – охотустройств.

В то время как близкие по сути задачи, где важнейшим элементом также является необходимость использования геопространственной информации, такие как создание проектов лесо- и землеустройства, уже давно решались с применением ГИС-технологий, многие охотустроители типы охотничьих угодий выделяли по бумажным лесотаксационным планам, площади рассчитывали на калькуляторе с использованием палетки, а карты с экспликацией угодий раскрашивали вручную.

Современное качественное охотустройство невозможно без использования ГИС-технологий. Фактически, проект охотустройства является схемой территориального планирования, в которой подавляющая часть информации имеет географическую составляющую, т. е., охотустройство является специфической геоинформационной системой.

Проект охотустройства включает в себя различные и весьма специфические разделы. Одним из первых

этапов разработки проекта охотустройства всегда является **инвентаризация** охотничьих угодий – выявление основных типов среды обитания, свойственных различным видам животных, охота на которые разрешена на данной территории [1]. В данной статье на примере территории Курганской области нами исследована возможность использования для таких целей мультиспектральных изображений и результатов их классификации.

При традиционном подходе некоторый участок территории охотничьего хозяйства относят к тому или иному типу угодий, прежде всего, в зависимости от характеристик растительного покрова (состава, возраста, ярусности, густоты и т. д.), определяющих кормовые и защитные свойства среды обитания различных видов животных. По типам угодий должна быть распределена вся территория хозяйства. Обычно для этого используются планы лесных насаждений, земельные планы, карты сельскохозяйственного кадастра и тому подобные материалы, доступные для разработчиков. Результаты типологизации актуализируются и корректируются по данным выборочных полевых обследований.

С ростом доступности для конечных потребителей данных дистанционного зондирования и средств работы с ними, для оценки типов и качества охотничьих угодий все чаще стали применяться снимки различных космических аппаратов. Нами использова-

лись космические снимки, полученные съемочной системой AVNIR-2 с КА ALOS [2] и поставленные компанией «Совзонд». Выбор этого вида данных дистанционного зондирования обусловлен наличием четырех спектральных каналов, высокой актуальностью съемки (2007–2008 гг.), а также доступной практически для любого охотпользователя стоимостью. Наличие синего канала позволяет синтезировать изображения территории в «привычных глазах» натуральных цветах. Синтез с использованием инфракрасного канала дает возможность выполнять визуальный анализ территории и предварительную оценку состояния растительного покрова.

Десятиметровое пространственное разрешение съемочной системы AVNIR-2 на местности является, на наш взгляд, близким к оптимальному для целей

выявления типологии охотничьих угодий методом классификации растрового изображения. С одной стороны, различимы достаточно мелкие детали местности, такие как небольшие прогалины в лесных массивах, мелкие колки и водоемы, русла небольших ручьев и другие особенности ландшафта, которые могут иметь определенное охотхозяйственное значение, а с другой – нивелируются ненужные для указанных целей мелкие подробности, приводящие к нецелесообразному увеличению объема информации и неизбежным трудностям в работе с результатами классификации.

Даже простой визуальный анализ снимков с ALOS/AVNIR-2, особенно в синтезе каналов NIR-R-G, при наличии некоторого опыта интерпретации цветовой и текстурной гаммы изображения, позволяет

составить достаточно полное представление о типологии угодий охотничьего хозяйства. Для более точной интерпретации изображений отдельных участков территории удобно использовать плановые материалы масштаба 1:10 000–1:25 000, а также снимки высокого разрешения, доступные, например, на сервисах ImageAtlas или GoogleMaps [3, 4]. Лучшим, по нашему мнению, способом для визуальной интерпретации мультиспектральных изображений, особенно с учетом возможности построения различных цветовых синтезов является фиксация координат наземных контрольных точек с одновременным фотографированием окружающего ландшафта в ходе натурного обследования территории. При анализе данных можно наложить

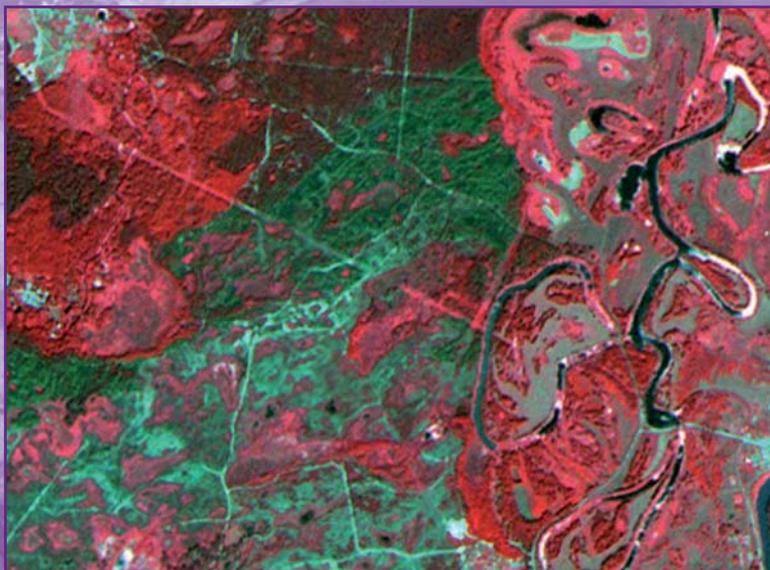


Рис. 1.

Мультиспектральное изображение участка территории охотничьего хозяйства с высоким разнообразием и мозаичностью ландшафтов, полученное системой AVNIR-2 (синтез каналов NIR-R-G). Присутствуют разнотипные лесные, полевые, водно-болотные ландшафты, имеется участок речной поймы, степные и солончаковые участки, пойменные озера с разными типами зарастания. Некоторые сельхозугодья зарастают травянистой растительностью и молодняком лиственных пород деревьев

слой нумерованных точек на снимок и сопоставить фотографии местности с соответствующими участками снимка.

Именно такой подход был использован на первом этапе работы с изображениями, полученными системой AVNIR-2. Предварительное понимание того, какие ландшафты или типы угодий визуально видны на снимке, особенно важно для последующего выделения необходимой типологии. Дело в том, что большинство типов охотничьих угодий, которые должен выделить охотустроитель, имеют весьма широкий спектральный диапазон пикселей изображения, отвечающего этому типу. Например, элемент мультиспектрального изображения, соответствующий участку типа «болото лесостепное», включает участки прибрежной растительности, воды, кустарников. Участки типа угодий «редколесье лиственное» включают кроны деревьев различной плотности и возраста, а также луговые фрагменты с различным составом растительности. Таким образом, спектральная картина целевых участков ландшафта может быть достаточно сложной, что существенно усложняет задачу (рис. 1).

Цель охотустроителя состоит в выделении участков мультиспектральных изображений, соответствующих определенным типам ландшафта и включающих порой почти весь спектральный диапазон данных. Эта задача противоречит самой идеологии классификации, состоящей в выделении участков изображения, сходных по спектральным характеристикам. В данном случае скорее необходимо обозначить участки изображения, которые бы соответствовали типам угодий, уже определенным в ходе предварительного натурного обследования территории, нежели выделить некоторое количество спектрально однородных классов и затем пытаться идентифицировать их как тот или иной тип угодий. Известно, что спектрально однородные классы хорошо коррелируют с характером растительного покрова, типом и влажностью почв, однако каждый такой класс в отдельности невозможно сопоставить с каким-то определенным типом угодий или ландшафтом.

Очевидно, что строгое решение такого рода задачи требует многоуровневой обработки исходных данных с применением принципиально отличных методов анализа изображения, при этом классификация по спектральным характеристикам — только один из

ее этапов. Тем не менее, опыт нашей работы показывает возможность получения достаточно корректной картины типологии охотничьих угодий, с использованием в качестве основы только результатов классификации.

В проекте охотустройства, как правило, выделяют три крупных класса охотничьих угодий: лесные, полевые и водно-болотные. Каждый из них должен быть конкретизирован до более узких типов угодий, определяющих особенности среды обитания данной территории. Например, в классе «Леса» возможно выделение типа «Сосновые леса», а также более узкого типа, например, «Спелые сосняки ягодниково-разнотравные».

Для целей выделения типов охотничьих угодий средней полосы лучше подходят снимки, сделанные в июле–сентябре. В этот период растительный покров уже (и еще) достаточно развит, можно наблюдать различные фазы его развития, обрабатываемые сельскохозяйственные угодья также имеют характерную цветовую гамму и текстурный рисунок, вследствие чего общая цветовая контрастность таких снимков выше тех, что получены весной или ранним летом. Широкий спектральный диапазон изображения в целом дает больше информации о типологии территории, позволяя выделить более узкие интересные классы охотугодий.

Классификация растрового изображения проводилась как методом итерационного самоорганизующегося анализа (ISODATA), так и с указанием обучающих выборок — методами спектрального угла и расстояния Махаланобиса. Работы выполнялись в программном комплексе ENVI [5]. Были использованы данные системы AVNIR-2 с уровнем обработки 1B2R, прошедшие атмосферную коррекцию в компании «Совзонд». Пространственная привязка космических снимков осуществлялась по наземным точкам, координаты которых были определены на местности с помощью GPS-навигатора.

Установлено, что для целей выделения типологии охотничьих угодий, алгоритмы классификации с обучением и без обучения приводят к принципиально равнозначным результатам. В том и другом случае необходима постклассификационная обработка, а также работа с производными векторными данными. Тем не менее, оба подхода имеют свои достоинства и недостатки.

Так, метод ISODATA позволяет без создания обучающих выборок, которое может занять достаточно длительное время, получить заданное количество классов и в дальнейшем проводить их обработку. С ростом доступности многоядерных процессоров и наличием оптимизации распределения загрузки доступных ядер в пакете ENVI, длительность итерационной процедуры уже не является фактором, лимитирующим использование метода ISODATA. Так, классификация снимка территории, площадью 25 тыс. га (площадь среднего охотничьего хозяйства в Курганской области), на 25 классов по четырем каналам с пределом сходимости 0,5% на персональном компьютере с четырехъядерным процессором частотой 2,4 ГГц занимает порядка 20–30 минут. И хотя с результатами неконтролируемой классификации требу-

ется несколько больший объем последующей работы (как с растровым изображением, так и с векторными полигонами, полученными на его основе), общее время обработки исходных данных до конечного векторного слоя практически сопоставимо с таковым при использовании классификации с обучением.

К недостаткам неконтролируемой классификации можно отнести невозможность априорного определения оптимального количества классов, на которое следует разбить изображение для выделения всех интересных особенностей ландшафтов. Это количество зависит от:

- характеристик конкретной сцены (сезона и времени съемки, распределения облачности и др.);
- характера и разнообразия ландшафтов конкретной территории;

- задач, сформулированных в ходе натурального обследования территории.

В общем случае можно сказать, что для рассматриваемых целей необходимое число классов может составлять от 15 до 25. Подбор оптимального числа классов неконтролируемой классификации требует значительного времени. Поскольку заранее неизвестно, сколько и каких классов окажется «лишними», т. е., не требуется для формирования окончательного векторного слоя и будет элиминировано, предпочтительно иметь их избыток.

Методы контролируемой классификации позволяют тонко отрегулировать спектральный состав получаемых классов и задать их целевое количество в соответствии с результатами натурального обследования. Как и следовало ожидать, прямое указание контуров участков це-



Рис. 2.

Мультиспектральное изображение участка территории охотничьего хозяйства с высоким разнообразием и низкой мозаичностью ландшафтов, полученное системой AVNIR-2 (синтез каналов NIR-R-G). Леса относительно однородные, полевые угодья представлены лугами, обрабатываемыми сельскохозяйственными угодьями, некоторые из них зарастают молодняком лиственных пород

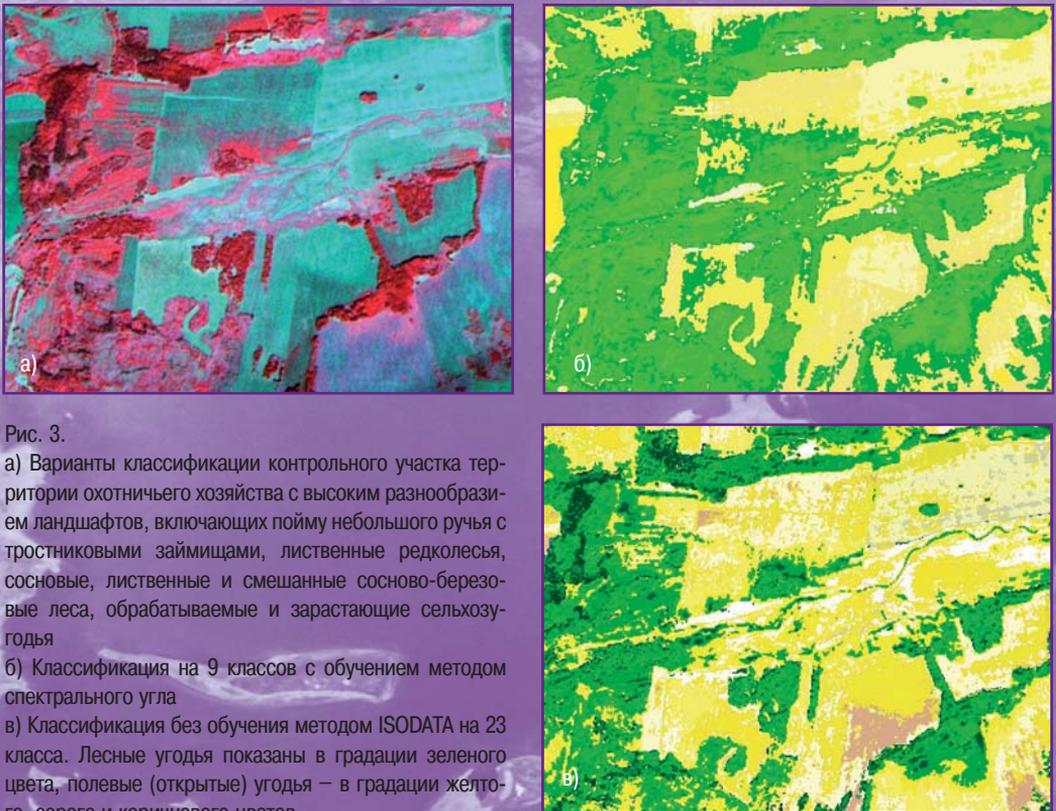


Рис. 3.

- а) Варианты классификации контрольного участка территории охотничьего хозяйства с высоким разнообразием ландшафтов, включающих пойму небольшого ручья с тростниковыми займищами, лиственные редколесья, сосновые, лиственные и смешанные сосново-березовые леса, обрабатываемые и зарастающие сельхозугодья
- б) Классификация на 9 классов с обучением методом спектрального угла
- в) Классификация без обучения методом ISODATA на 23 класса. Лесные угодья показаны в градации зеленого цвета, полевые (открытые) угодья – в градации желтого, серого и коричневого цветов

левых типов охотничьих угодий в качестве тренировочных образцов не позволяет получить корректного набора эталонных спектров – классы не разделяются и перекрываются. Необходимо тщательное выделение тренировочных участков, желательно в различных частях территории, что также достаточно трудоемко. В этом случае можно выделить лишь несколько узких классов, которые будут использованы для формирования нескольких сложных типов угодий, не проводя классификацию с обучением для всего изображения.

Следовательно, для изображений территорий, характеризующихся значительным разнообразием ландшафтов и типологии угодий, и как следствие, широким спектральным диапазоном, проще выпол-

нить несколько более длительную автоматическую классификацию методом ISODATA с получением 20–25 классов, нежели набрать то же количество типов корректных спектральных образцов, проводя затем их исследование на разделимость и перекрывание спектральных выборок. Для изображений с более однородным ландшафтом (рис. 2) целесообразно использовать контролируемую классификацию. Однако такие территории в Курганской области встречаются довольно редко.

Наиболее простой подход, использованный нами, состоял из следующих этапов. Сначала проводилась классификация изображения AVNIR-2 с обучением или без такового. При этом делали два варианта классификации – на 5–10 классов и на 15–25 клас-

требуемых типов угодий. Окончательная сборка векторных слоев и их последующая корректировка, в том числе, при необходимости, в «ручном» режиме, а также коррекция и согласование топологии полигонов проводились в ПО MapInfo Professional.

Полученный «синтетический» векторный слой (рис. 4) проверялся на предмет соответствия полученной типологии данным полевых исследований реальных типов угодий, зафиксированных по наземным калибровочным точкам. Совпадение типологии составляет в среднем от 90% до 96%, большинство несоответствий приходится (в порядке убывания) на болотные, лесные и полевые угодья, а также на участки пограничных ландшафтов указанных типов – именно они являются самыми разнообразными в спектральном отношении. Оценка корректности результатов типологизации позволяет говорить о принципиальной возможности применения описанного метода для экспликации типов охотничьих угодий и последующего расчета их площади.

При разделении на небольшое число классов полевые угодья классифицируются с достаточной для целей инвентаризации охотугодий дискретностью, при этом хорошо отграничиваются от совокупности лесных угодий. Исключение составляют участки заброшенных полей, зарастающих сорным высокотравьем, которые совпадают с классом хвойных или смешанных лесов. Также не отделяются участки зрелых лиственных лесов от участков, занятых лиственными молодняками. Лесные и болотные угодья получаются недопустимо генерализованными.

При разделении на большое число классов дискретность классов, соответствующих лесным и болотным угодьям, достаточна для формирования контуров целевых типов угодий с заданной подробностью. Разделение большинства полевых угодий излишне подробно, часть этих классов может быть элиминирована путем объединения.

В заключение сделаем несколько замечаний относительно ограничений использованного подхода и направлений для дальнейшего исследования возможностей применения мультиспектральных спутниковых изображений для целей описания типологии охотугодий, разработки проекта охотустройства и задач охотничьего хозяйства вообще.

Применение ГИС-технологий и использование данных ДЗЗ, в том числе, результатов обработки мультиспектральных изображений при инвентаризации охотничьих угодий не отменяет необходимости полевых работ, которые, безусловно, составляют основу проекта и обеспечивают оценку корректности результатов типологизации.

При любом варианте работы с мультиспектральными данными ДЗЗ и их производными требуется некоторый объем «ручной» работы для окончательной корректировки векторных данных.

Для выполнения качественной инвентаризации типологии хозяйства невозможно ограничиться только данными мультиспектральных съемок, требуется использование плано-картографических материалов.

Очевидна необходимость поиска эффективных методов более детального разделения лесных угодий по типам, необходимым для охотхозяйственного проектирования. На основе классификации мультиспектральных изображений не всегда удается разделить леса по возрасту, составу пород, характеру подлеска, а тем более, по составу нижних ярусов и травянистого покрова. Здесь следует искать возможность применения дополнительных данных ДЗЗ, имеющих характеристики, коррелирующие с перечисленными признаками лесных угодий. Это могут быть, например, данные о высотах местности, уклонах рельефа, производные от спектральных характеристик. В этом случае весьма перспективным может быть использование алгоритма дерева решений.

Список литературы

1. Д.Н. Данилов и др. *Основы охотустройства, Лесная промышленность.* – М., 1966.

2. *Remote Sensing Technology Center of JAPAN [Электронный ресурс]. URL: http://www2.restec.or.jp/top_e.html.*

3. *ImageAtlas [Электронный ресурс]. URL: <http://imageatlas.digitalglobe.com/ia-webapp>.*

4. *Google Maps [Электронный ресурс]. URL: <http://maps.google.com>.*

5. *What is ENVI? [Электронный ресурс]. URL: <http://www.itvis.com/ProductServices/ENVI.aspx>.*