

С.Г. Мышляков (Компания «Совзонд»)

В 2004 г. окончил Белорусский государственный университет по специальности «география». Работал на научно-исследовательском предприятии по землеустройству, геодезии и картографии «БелНИЦзем» (Минск, Беларусь). В настоящее время — ведущий специалист по тематической обработке данных ДЗЗ компании «Совзонд».

Особенности дешифрирования ландшафтов по мультиспектральным космическим снимкам для создания карты элементов среды обитания охотничьих ресурсов

ВВЕДЕНИЕ

Космическая съемка находит все более широкое применение во многих сферах науки и производства. Не секрет, что данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) прочно вошли в такие сферы инженерного проектирования, как землеустройство, лесоустройство, градостроительство, проектирование особо охраняемых природных территорий (ООПТ). К данному перечню может быть присоединено и охотустройство.

Охотустройство представляет собой комплекс мероприятий, направленных на рациональное, устойчивое (не приводящее к истощению биологического разнообразия охотничьей фауны) использование охотничьих животных, их охрану, воспроизводство и поддержание территории закрепленных угодий в состоянии, пригодном для ведения охотничьего хозяйства.

К охотустроительным мероприятиям относятся создание схем размещения, использования и охраны, их инвентаризация и экспликация, бонитировка охотничьих угодий, расчет оптимальной численности и оценка состояния охотничьих ресурсов, учет

численности охотничьих животных, биотехнические мероприятия.

Как же космическая съемка может помочь при проведении вышеуказанных мероприятий, главной целью которых является оптимизация использования объектов животного мира?

Как и любое мероприятие территориального планирования, охотустроительное проектирование имеет дело с картографической основой, для создания либо актуализации которой применяются космические снимки.

Но главное состоит в другом. Одним из важнейших этапов охотустроительного проектирования является разработка схемы размещения и охраны охотничьих угодий (далее — Схема). В соответствии с приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 31 августа 2010 г. № 335 Схема является документом территориального охотустройства, осуществляемого в целях планирования в области охоты и сохранения охотничьих ресурсов и направленного на обеспечение рационального использования, сохранения охотничьих ресурсов и осуществления видов дея-

тельности в сфере охотничьего хозяйства на территории субъекта Российской Федерации. Схема включает в себя несколько разделов, одним из которых является характеристика состояния численности и размещения охотничьих ресурсов на территории субъекта Российской Федерации. В соответствии с вышеупомянутым приказом № 335, в составе данного раздела должен присутствовать картографический материал, содержащий графическое отображение и данные о площадях категорий и классов элементов среды обитания охотничьих ресурсов. Сами эти категории и классы представляют собой описанные по определенным правилам типы земельных угодий и ландшафтов. Задача использования космических снимков при составлении Схемы как раз и состоит в том, чтобы с максимальной достоверностью выявить расположение, определить структуру и подсчитать площадь категорий и классов элементов среды обитания охотничьих ресурсов. Естественным шагом для решения поставленной задачи является тематическое дешифрирование космических снимков.

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРРИТОРИИ

Компанией «Совзонд» были выполнены экспериментальные работы по автоматизированному дешифрированию категорий и классов элементов среды обитания охотничьих ресурсов в рамках работ по составлению схемы размещения, использования и охраны охотничьих угодий на территории Республики Саха (Якутия). Территория республики огромна, поэтому в качестве пилотного региона для выполнения работ был выбран Намский улус (рис. 1).

Намский улус расположен в центральной части Республики Саха (Якутия), его площадь составляет 11,9 тыс. кв. км. Территория улуса расположена в пределах Центрально-Якутской равнины в подзоне центральноякутских среднетаежных лесов. Большая часть улуса покрыта лесами (67% всей территории). Доминирующей породой в лесах является лиственница сибирская, значительно присутствие таких пород, как сосна, кедр и береза. Как и вся Якутия, Намский улус относится к зоне вечной мерзлоты, что обуславливает интенсивное протекание термо-

карстовых процессов. По этой причине изучаемая территория изобилует небольшими озерами, луговинами и болотами. Важной составляющей экологического каркаса территории является наличие долин крупных рек — Лены и Алдана с большими площадями пойменных комплексов.

Ландшафты района характеризуются достаточно высокой естественной сохранностью. Наибольшему антропогенному воздействию подвержены территории надпойменных террас реки Лены, где расположено большинство населенных пунктов, предприятий и объектов инфраструктуры. Также к долине реки прилегают основные районы сельскохозяйственных земель (пастбищ и сенокосов). Территория улуса характеризуется также присутствием лесных гарей — следов лесных пожаров различной давности.



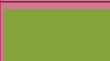
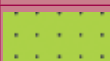


Структура ландшафтов района наряду с датами космической съемки оказывает определяющее влияние на специфику дешифрирования элементов среды обитания. В табл. 1 представлен перечень элементов среды обитания, выделенных на территории улуса в ходе дешифрирования космических снимков. Также в таблице представлена легенда к



Рис. 1. Расположение Намского улуса на карте Республики Саха (Якутия)

Таблица 1

Элементы среды обитания охотничьих ресурсов Намского улуса, выделенные в результате дешифрирования снимков

Категории среды обитания охотничьих ресурсов	Классы среды обитания охотничьих ресурсов	Условный знак	Категории в соответствии с приказом № 335
Леса	Хвойные вечнозеленые (хвойных вечнозеленых пород более 80%)		1
	Хвойные листопадные (хвойных листопадных пород более 80%)		
	Мелколиственные (мелколиственных пород более 80%)		
	Смешанные с преобладанием хвойных пород (хвойных пород 60—80%)		
	Смешанные с преобладанием мелколиственных пород (мелколиственных пород 60-80%)		Новые классы, отсутствующие в приложении 2 к приказу № 335
	Хвойные вечнозеленые и листопадные (хвойных пород более 80%)		
	Смешанные с незначительным преобладанием хвойных (50—60%)		
	Смешанные с незначительным преобладанием лиственных (50—60%)		
Болота	Болота		4
Лугово-степные комплексы	Луга		5
Сельскохозяйственные угодья	Луга сельскохозяйственного назначения (сенокосы и пастбища)		8
Внутренние водные объекты	Реки и озера		9
Пойменные комплексы, в том числе	С преобладанием леса (лес более 80%)		10
	С преобладанием травянистой растительности (лес и кустарники до 20%)		
Пойменные комплексы, в том числе	Смешанный лесной		10
	Песчаные гривы и отмели		Новый класс
Преобразованные и поврежденные участки	Лесные гари		12
Территории, непригодные для ведения охотничьего хозяйства	Промышленные и рудеральные комплексы, населенные пункты и т. д.		13

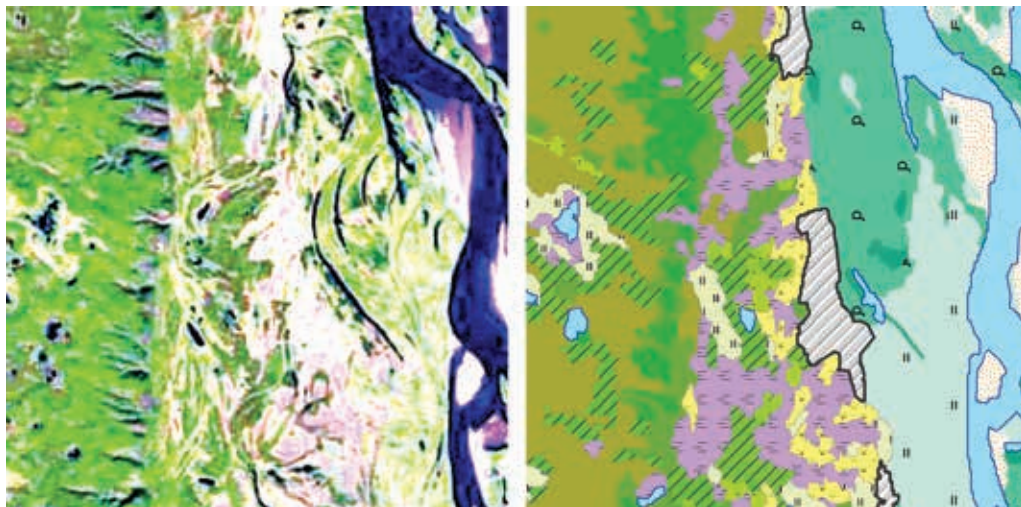


Рис. 2. Результаты дешифрирования элементов среды обитания охотничьих ресурсов: слева — фрагмент мультиспектрального космического снимка Landsat TM; справа — фрагмент карты категорий и классов элементов среды обитания охотничьих ресурсов

карте, фрагмент которой приведен на рис. 2. Как видно из табл. 1, не все элементы среды обитания имеют эквивалент в приказе № 335. Такое несоответствие обусловлено рядом причин, о которых речь пойдет ниже.

Таким образом, всего на территории улуса было выделено 18 классов элементов среды обитания охотничьих ресурсов. Выбор целевых классов, приведенных в таблице, обусловлен двумя факторами. Во-первых, приложением 2 к приказу № 335, устанавливающим требования к составу и структуре схемы размещения, использования и охраны охотничьих угодий на территории субъекта Российской Федерации, т. е. целевые классы дешифрирования должны максимально совпадать с классами, обозначенными в приложении к приказу. Во-вторых, спецификой используемых космических снимков, которые позволяют распознать далеко не все классы из установленного перечня.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Вышеупомянутым приказом № 335 установлено, что для разработки Схемы могут быть использова-

ны материалы аэросъемки или космической съемки поверхности Земли, имеющие давность не более 5 лет на момент составления Схемы и отражающие реальное состояние экосистем. Как видно, требования к материалам ДЗЗ в приказе сформулированы довольно пространно и допускают использование данных с различных спутников. Актуальным является вопрос информативности исходных ДЗЗ для составления Схемы. Информативность космических снимков определяется в первую очередь их пространственным разрешением. Пространственное разрешение используемых снимков очень часто выбирается исходя из требований к выходной картографической продукции. Но приказом № 335 не установлены требования к масштабам картографического материала Схемы. Таким образом, масштаб карт определяется на этапе составления технического задания индивидуально для каждого субъекта Российской Федерации.

Поскольку выполненные работы носили экспериментальный характер, в качестве исходных данных ДЗЗ были использованы имеющиеся в открытом доступе мультиспектральные космические снимки Landsat TM (пространственное разрешение 30 м, 7 спектральных каналов). На территорию

Таблица 2

**Даты снимков Landsat TM на территорию Намского улуса,
использованных при выполнении работы**

Западная часть (виток 121, ряд 16)	Восточная часть (виток 123, ряд 16)
12.07.2011	24.06.2011
14.09.2011	11.08.2011
30.09.2011	27.08.2011

Намского улуса были получены разновременные снимки за несколько дат в течение 2011 г. (табл. 2).

Помимо космических снимков, для выполнения работы были использованы следующие данные:

- топографические карты масштаба 1:100 000;
- публичная кадастровая карта Росреестра;
- растровая карта породного состава лесов России (ИКИ РАН), пространственное разрешение 350 м;
- карта экосистем Северной Евразии (land cover) проекта Terra Norte (ИКИ РАН, Объединенный исследовательский центр при Еврокомиссии), пространственное разрешение 820 м;
- векторная карта OpenStreetMap.

В ходе выполнения работы было использовано профессиональное ПО ENVI 5.0 (Exelis) и ArcGIS 10.1 (Esri). Программный комплекс ENVI 5.0 предназначен для всесторонней обработки космических снимков, в том числе для автоматизированного тематического дешифрирования. ENVI 5.0 предоставляет богатый инструментарий для классификаций мультиспектральных космических снимков. Доступны инструменты как попиксельной, так и объектноориентированной классификации, позволяющие при их комбинировании добиться высокого качества дешифрирования. Программный комплекс ArcGIS 10.1 в данной работе был использован для оформления окончательного варианта карты.

МЕТОДИКА ДЕШИФРИРОВАНИЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

На рис. 3 приведена общая технологическая схема выполнения работ по созданию карты элементов

среды обитания охотничьих ресурсов.

Для получения целевого результата — карты элементов среды обитания охотничьих ресурсов было применено автоматизированное дешифрирование ландшафтов по мультиспектральным космическим снимкам. Основной идеей дешифрирования применительно к данной работе является комбинирование методов попиксельной контролируемой классификации и объектноориентированной классификации.

В основе примененного подхода лежат принципы последовательности и иерархичности, т. е. дешифрирование предстает не как одномоментная итерация, а как набор последовательных действий по отделению компонентов ландшафтов от «основной части» изображения. На рис. 4 приведена блок-схема, в соответствии с которой производилось отделение категорий и классов элементов среды обитания охотничьих ресурсов. Как видно из рисунка, отделение достигается путем создания растровых масок на определенные виды угодий и ландшафтов.

Сущность подхода заключается в следующем. К исходному мультиспектральному изображению применяются растровые маски, что повышает надежность дешифрирования ландшафтов и угодий на каждом из последовательных шагов алгоритма. Дешифрирование ландшафтов и угодий осуществляется от наиболее легко дешифрируемых объектов к наиболее сложно дешифрируемым объектам. На начальном этапе от исходного изображения отделяются полученные на основе данных публичной кадастровой карты границы населенных пунктов. Далее производится автоматизированное выделение наиболее легко и достоверно дешифрируемой части изображения — водных объектов. Вода, как известно, обладает большой поглощаю-

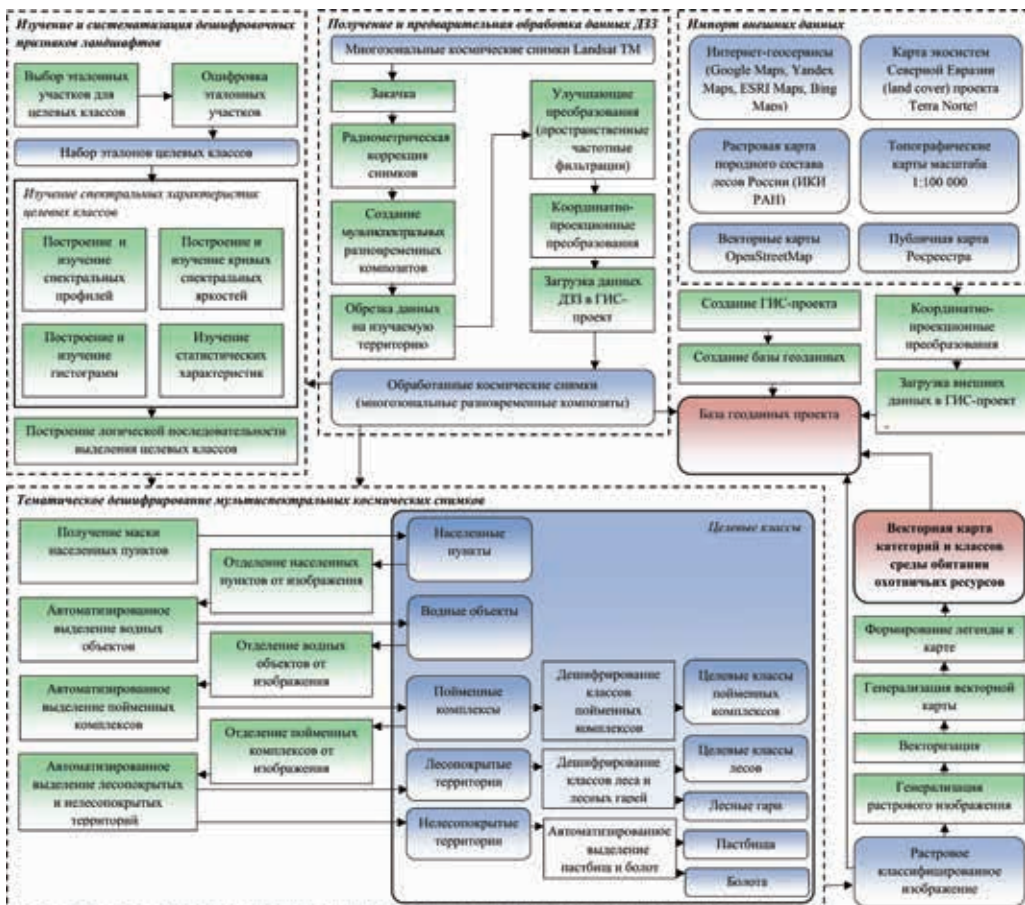


Рис. 3. Общая технологическая схема создания карты элементов среды обитания охотничьих ресурсов по космическим снимкам

щей и малой отражательной способностью электромагнитных волн в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне. Соответственно ее легко отделить от изображения путем построения простейших логических запросов к значениям спектральной отражательной способности (на основе пороговых значений яркости).

Границы пойменных комплексов были получены путем дешифрирования июньского снимка Landsat TM. Июнь — это период максимального расхода воды в Лене и пик половодья. В пределах пойменных комплексов были отдешифрированы леса, безлесные

территории и песчаные гряды и отмели. Далее на основе сегментации и ГИС-анализа были получены классы пойменных угодий, приведенные в табл. 1.

На основе анализа изображения индекса NDVI для маскированного изображения лесопокрывных территорий был выделен класс лесных гарей. Для дешифрирования классов в категории лесов была произведена контролируемая пиксельная классификация породного состава лесов с выделением классов хвойных листопадных пород (лиственница), хвойных вечнозеленых пород (сосна, кедр), мелколиственных пород (береза, осина). После этого на

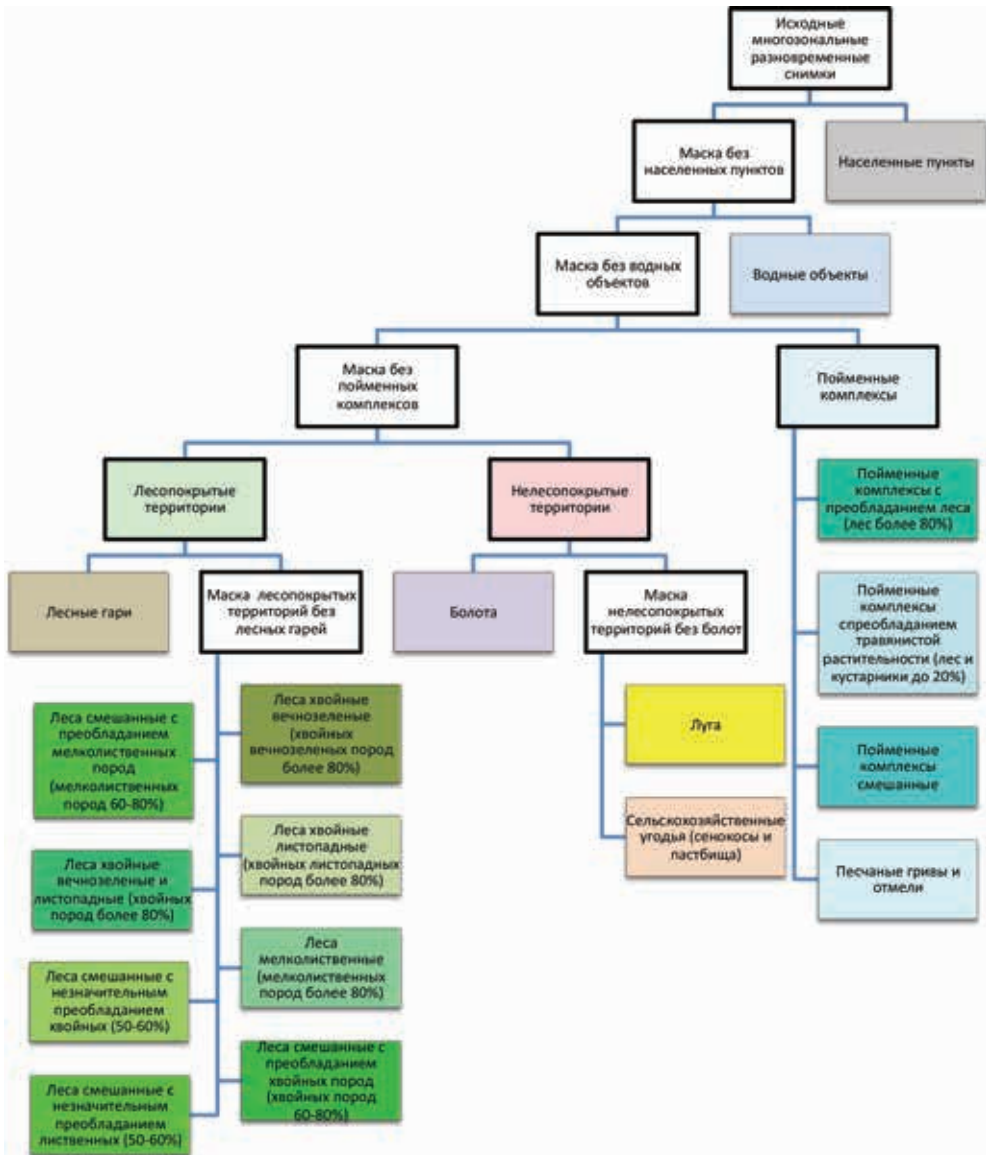


Рис. 4. Блок-схема последовательного иерархического дешифрирования целевых классов

основе результатов сегментации изображения лесопокрытых территорий было рассчитано количество пикселей различных пород, попадающих в пределы того или иного сегмента (рис. 5). В зависимости от процентного содержания пикселей сегмент был

отнесен к определенному классу в соответствии с таблицей 1.

Оставшаяся часть территории была классифицирована на предмет принадлежности к классам болот, лугов и сельскохозяйственных угодий (сено-

косов и пастбищ). Это наиболее сложно-дешифрируемые в автоматизированном режиме типы угодий. Болота были выделены на основе анализа значений спектральной отражательной способности в инфракрасных каналах Landsat™. Оставшиеся угодья были отнесены к лугам и сельскохозяйственным угодьям (пастбища и сенокосы). Достоверность взаимного разделения лугов и сельскохозяйственных угодий представляется наименьшей.

Таким образом, на выходе вместо обычного классифицированного изображения было получено несколько файлов, соответствующих различным категориям и классам элементов среды обитания. Все эти файлы были получены на различных этапах последовательного иерархического дешифрирования. Растровые файлы классов были объединены в единый файл, который затем был подвергнут автоматизированной генерализации. На заключительном этапе карта была переведена в векторный формат и дополнена файлом легенды.

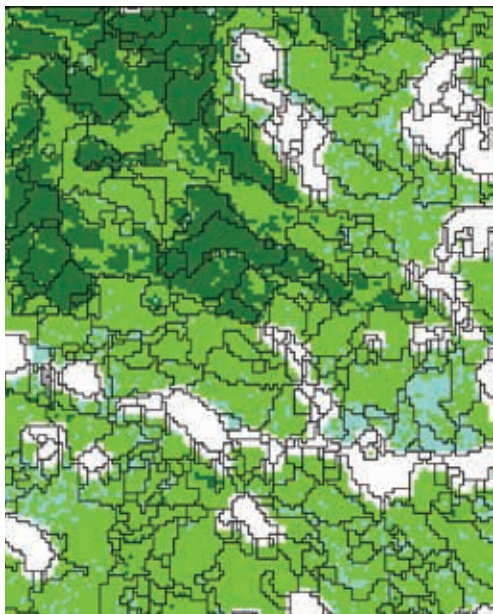


Рис. 5. Результаты сегментации, наложенные на результаты дешифрирования породного состава лесов. Темно-зеленый цвет — хвойные вечнозеленые леса, светло-зеленый — хвойные листопадные леса, голубой — мелколиственные леса

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 2 приведен фрагмент космического снимка и итоговой карты элементов среды обитания охотничьих ресурсов. Минимальный размер контура, отображаемого на карте, составляет 5 га, поэтому карта достаточно детально отображает структуру ландшафтов Намского улуса Республики Саха (Якутия). Всего на территории улуса выделено свыше 17 тыс. контуров, что дает основание говорить о достаточно разнородной структуре ландшафтов и угодий.

В результате дешифрирования выделено 18 классов элементов среды обитания охотничьих ресурсов, принадлежащих 8 категориям. Все ключевые средообразующие категории и классы на территории улуса были распознаны и идентифицированы с помощью технологий автоматизированной обработки разновременных мультиспектральных снимков.

Особо стоит остановиться на проблемных моментах дешифрирования. Так, не поддаются дешифрированию по снимкам Landsat™ некоторые категории и классы, имеющиеся в приказе № 335. К таковым относятся присутствующие на территории Намского улуса кустарники, молодняки, вырубки. Для их достоверного дешифрирования требуется привлечение снимков более высокого пространственного разрешения. Затруднительно разделение категории болот на верховые, травяные и трясины.

В табл. 3 приведены результаты экспликации категорий и классов элементов среды обитания охотничьих ресурсов Намского улуса. Очевидно преобладание лесов в общей структуре угодий, в первую очередь хвойных. Значительная роль в ландшафтной структуре принадлежит также пойменным комплексам рек Лены и Алдана. Территории, непригодные для ведения охотничьего хозяйства, занимают лишь 0,35% всей площади района. Все перечисленные факты говорят о благоприятных условиях Намского улуса для развития охотничьего хозяйства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенная экспериментальная работа по созданию карты элементов среды обитания охотни-

Таблица 3

Площадь категорий и классов элементов среды обитания охотничьих ресурсов

№ класса	Название категорий и классов	Площадь, тыс. га	Удельный вес, %
1	Леса, в том числе:	795,2	66,98
	<i>Хвойные вечнозеленые (хвойных вечнозеленых пород более 80%)</i>	130,2	10,96
	<i>Хвойные листопадные (хвойных листопадных пород более 80%)</i>	289,6	24,39
	<i>Мелколиственные (мелколиственных пород более 80%)</i>	37,6	3,17
	<i>Смешанные с преобладанием хвойных пород (хвойных пород 60—80%)</i>	73,4	6,18
	<i>Смешанные с преобладанием мелколиственных пород (мелколиственных пород 60-80%)</i>	95,3	8,03
	<i>Хвойные вечнозеленые и листопадные (хвойных пород более 80%)</i>	140,7	11,85
	<i>Смешанные с незначительным преобладанием хвойных (50—60%)</i>	17,2	1,44
	<i>Смешанные с незначительным преобладанием лиственных (50—60%)</i>	11,3	0,95
4	Болота	58,6	4,93
5	Луга	74,0	6,23
8	Сельскохозяйственные угодья (сенокосы и пастбища)	24,8	2,09
9	Внутренние водные объекты (реки и озера)	101,0	8,51
10	Пойменные комплексы, в том числе:	103,4	8,71
	<i>С преобладанием леса (леса более 80%)</i>	9,4	0,79
	<i>С преобладанием травянистой растительности (леса и кустарников до 20%)</i>	34,5	2,91
	<i>Смешанный лесной</i>	43,4	3,66
	<i>Песчаные гривы и отмели</i>	16,1	1,35
12	Лесные гари	26,2	2,21
13	Территории, непригодные для ведения охотничьего хозяйства (промышленные и рудеральные комплексы, населенные пункты и т. д.)	4,1	0,35
ИТОГО		1187,3	100

чных ресурсов продемонстрировала высокий потенциал, которым обладают мультиспектральные космические снимки, полученные в различные сезоны. Ландшафты Якутии, как и большинства других регионов, подвержены сезонной динамике, которая находит свое отражение на снимках.

Технология последовательного иерархического дешифрирования угодий и ландшафтов по разновременным мультиспектральным снимкам может эффективно применяться для картографирования элементов среды обитания охотничьих ресурсов. Основные выводы, сделанные в ходе выполнения работы:

- комбинируя спектральные каналы разносезонных снимков, удается достичь улучшения распознаваемости многих компонентов экосистем. Ярким примером являются леса и пойменные комплексы. Изменения в данных экосистемах очень четко сказываются на формировании их спектрального образа;
- последовательно отделяя одни угодья и ландшафты от других, удается уменьшить количество посторонних артефактов, которые могут быть неверно интерпретированы при классификации полной сцены снимка;
- важным моментом технологии дешифрирования, примененной в работе, является использование только наиболее информативных спектральных каналов, а не их полного набора, что также улучшает распознаваемость объектов.

Визуальный анализ по полученным целевым классам показывает их хорошую сходимость с реальной ландшафтной структурой изучаемой территории. Однако строгий научный подход требует проведения валидационных и верификационных исследований, которые в данной работе, к сожалению, не проводились. В дальнейшем, при выполнении аналогичных работ, планируется оценка достоверности результатов дешифрирования с построением матрицы ошибок.

Для более полного отображения ландшафтной структуры целесообразным является применение снимков более высокого разрешения (0,5–10 м). Ожидается, что благодаря им станет возможным распознавание таких классов, как кустарники,

молодняки, вырубки, зарастающие сельскохозяйственные поля, которые не нашли отображения в данной работе.

Естественно предположить, что для дешифрирования экосистем, отличных от описанных в статье, потребуется видоизменение технологии. Будут изменены, дополнены либо удалены определенные этапы обработки при сохранении общей концепции последовательного иерархического дешифрирования мультиспектральных снимков. В целом же, многообразие ландшафтов нашей страны обуславливает многообразие научно-методологических подходов к их дешифрированию с точки зрения охотничьего хозяйства. Из этого следует необходимость выполнения многосторонней научно-исследовательской работы, направленной на изучение возможностей использования ГИС и данных ДЗЗ, причем не только для целей дешифрирования, но и в целом для решения задач охотостроительного проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон Российской Федерации от 24 июля 2009 г. №209-ФЗ «Об охоте и о сохранении охотничьих ресурсов и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ»: федер. закон : [принят Гос. Думой 17 июля 2009 г.: одобр. Советом Федерации 18 июля 2009 г.]
2. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 31 августа 2010 г. №335 «Об утверждении порядка составления схемы размещения, использования и охраны охотничьих угодий на территории субъекта Российской Федерации, а также требований к ее составу и структуре».
3. Ембаев И.А., Абросимов А.В. Инвентаризация охотничьих угодий по результатам классификации мультиспектральных изображений // Геоматика. — 2009. — №3. — С. 33—39.
4. Величенко В.В. Вопросы эколого-экономической оценки природных ресурсов охотничьего хозяйства. — Якутск: Изд-во СВФУ им. М.К. Аммосова, 2010. — 130 с.