

## Оперативная ресурсная оценка пастбищных угодий северного оленя по спектрозональным спутниковым данным

В.В. Елсаков

*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
Сыктывкар 167610, Россия  
E-mail: elsakov@ib.komisc.ru*

Разработана и опробована технология, позволяющая выполнять оперативную инвентаризацию пастбищных угодий северного оленя, составлять проекты землепользования оленеводческих хозяйств с привлечением материалов спектрозональных спутниковых съемок. Преимуществом метода является возможность расчетов по разносезонным и разногодовым данным, различающимся по климатическим условиям. Результатами использования спутниковых данных являются тематические геоботанические карты и количественные характеристики запаса отдельных кормовых единиц (лишайниковые и зеленые (кустарниковые, травяные) корма), рассчитанные с использованием принципов декомпозиции спектральных смесей. Полученные материалы формируют пространственно-организованную базу данных, включающую в себя полигональные объекты (векторные слои хозяйственных выделов) и связанные с ними через персональный идентификатор атрибутивные данные по площади контуров хозяйственных выделов, представленность и площадь отдельных классов растительности и земной поверхности, средний запас кормовых единиц. Через ранее установленные и регионально адаптированные коэффициенты полученные величины используются для расчета хозяйственных единиц (оленеемкость, количество дней пребывания на выделе и т.д.). На примере выполнения проектов землеустройства пастбищ отдельных оленеводческих хозяйств показаны преимущества и ограничения разработанной технологии в сравнении с традиционными методами работ.

**Ключевые слова:** пастбищные угодья северного оленя, спутниковые спектрозональные данные, инвентаризация растительных ресурсов.

### Введение

Оленеводство является традиционной формой деятельности населения Севера России, определяющей формирование экономических, культурных и социальных особенностей жизни коренных народов. Несмотря на устоявшиеся культурные нормы и территориальные границы хозяйств оленеводство представляет собой пластичную сферу деятельности, адаптирующуюся к меняющимся естественным (региональные и глобальные климатические флуктуации) и социально-экономическим изменениям. Наиболее важные процессы трансформации природных экосистем европейского северо-востока России в настоящее время связаны с промышленным освоением территории Российского арктического региона, широкомасштабным влиянием нефтяной и газовой добычи, дорожным строительством и угольной промышленностью. Выполнение масштабной инвентаризации характеристик пастбищ остается актуальным и в связи с глобальными климатическими изменениями. Немаловажное значение имеет увеличивающаяся пастбищная нагрузка на растительные сообщества, обусловленная нарушением сложившейся системы выпаса. Плотность выпаса оленей в хозяйствах варьирует от 0,4 до 2,3 голов/км<sup>2</sup>, при средних показателях по региону 1,2 голов/км<sup>2</sup>. Принято считать, что в среднем олень съедает в сутки кормовую смесь в количестве 5,35 кг воздушно-сухой массы (Сыроватский, 2000), поэто-

му перекрытие участков выпаса отдельных хозяйств приводит к особо существенной деградации пастбищных угодий.

Большинство современных исследований растительного покрова на территории региона носит преимущественно прикладной характер и связано с оценкой последствий деятельности объектов нефтяной и газовой промышленности, землеустройством и кадастровой оценкой пастбищ (Елсаков и др., 2009). Анализ сложившейся практики показывает, что в основном, современная система землеустройства ориентирована исключительно на инвентаризацию состояния оленьих пастбищ и не отражает динамических изменений в растительных сообществах. Однако, в последние годы наблюдается рост интереса к созданию электронных банков данных и цифровых тематических карт различного профиля, ориентированных на проблемы оленеводства. В частности, на территории Чукотского автономного округа и Магаданской области достаточно активно осуществляется разработка и построение цифровых карт оленьих пастбищ (1:250 000) и ГИС-системы по оленеводству на базе данных по землеустройству (Полежаев, 2001).

На сегодняшний день работы по изучению структурных и функциональных особенностей наземных экосистем, входящих в состав оленьих пастбищ, с применением современных информационных технологий наиболее интенсивно проводятся в странах Скандинавии (Väre et al., 1995; Olofsson et al., 2001 и др.). Наиболее перспективными методами, используемыми для данных целей, считаются именно спутниковые методы мониторинга земной поверхности с использованием мультиспектральных космических изображений. Такого рода работы по инвентаризации оленьих пастбищ Финляндии проведены Финским институтом рыбного и промыслового хозяйства в течение 1997–1998 годов. По результатам этих исследований создана полная классификация и инвентаризация оленьих пастбищ, разработана система долговременного мониторинга их состояния, а методы дистанционного мониторинга признаны наиболее информативными. В результатах выполнения ревизии состояния пастбищных угодий европейского северо-востока России заинтересованы конкретные оленеводческие хозяйства регионов и органы региональных представительств Минсельхозпрода, т.к. внедрение новой технологии в практику выполнения землеустроительных работ станет основой для корректировки проектов пастбищного устройства территории.

В настоящее время методические принципы, лежащие в основе выполнения работы по инвентаризации (ТУ по геоботаническому обследованию оленьих пастбищ, 1985), имеют ряд недостатков, которые могут быть сведены к следующим пунктам: финансовая затратность - до 50-70% от затрат связана с выполнением аэровизуальных маршрутных наблюдений специалистами (средняя стоимость аренды вертолета Ми-8 составляет 80–

100 тыс. руб/час.) и значительная трудоемкость, результаты работ субъективны, часто не дают объективных оценок и требуют экспертных знаний.

Во-вторых, интенсивное промышленное развитие северных регионов существенно сократило и ухудшило качественное состояние пастбищ. Так, за последние 30 лет на территории ЯНАО площадь пастбищ сокращена на 7,1 млн. га. Сокращение произошло за счет чрезмерной нагрузки поголовья оленей на пастбища, а также в связи с отводом около 260 тыс. га для промышленного строительства объектов нефтегазового комплекса и транспортной инфраструктуры, уничтожением 70 тыс. га пожарами, загрязнениями территории (Ямало-Ненецкий АО, 2009). Поэтому, разрабатываемая технология может быть широко использована в практике выполнения мониторинговых задач. Полученные материалы станут основой для разработки рекомендаций, регламентирующих использование пастбищных угодий совместно с представителями органов учредительной власти, руководителями хозяйств и других природопользователей

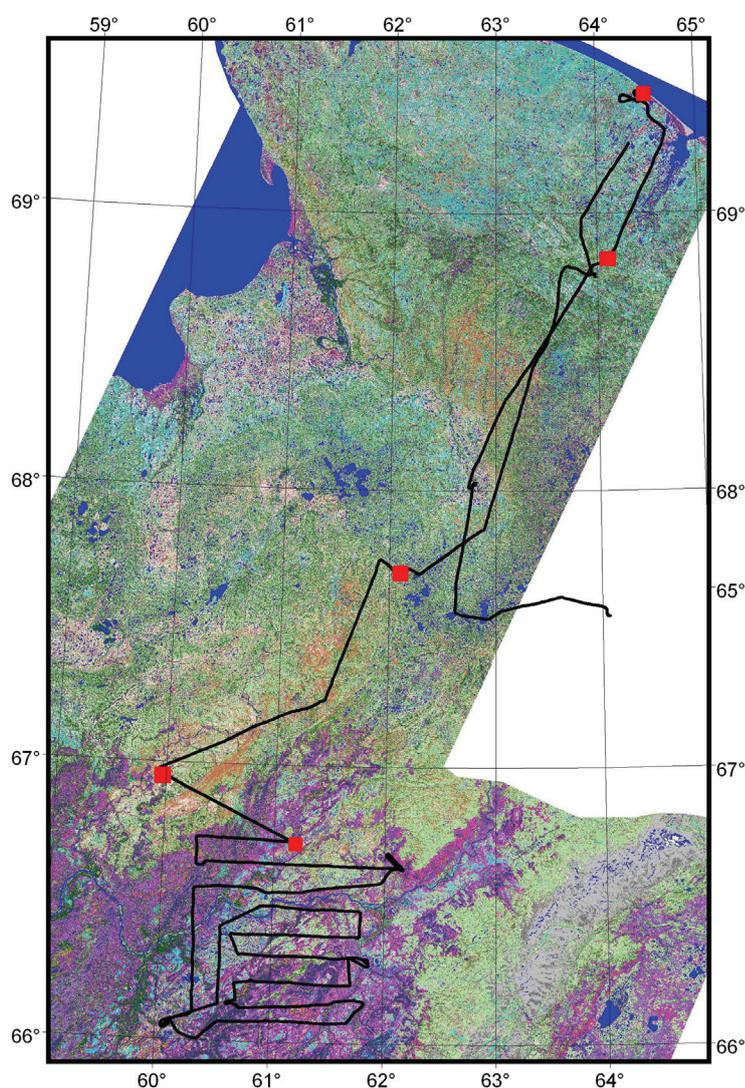
Основные задачи настоящего исследования состояли в разработке и апробации технологии оперативной инвентаризации ресурсов пастбищных угодий северного оленя с использованием спутниковых съемок, составлении проектов землепользования оленеводческих хозяйств с учетом разносезонных и разногодových данных, различающихся по климатическим условиям. Апробация технологических решений для решения поставленных задач стала возможной в рамках выполнения договорных научно-практических работ по геоботаническому и землеустроительному исследованию территории земельных участков, арендуемых ОАО «Абезь», ООО «Агрокомплекс «Инта Приполярная», ОАО «Петруньское» для целей северного оленеводства.

## **Материалы и методы**

Работа по инвентаризации пастбищных угодий модельных хозяйств выполнена в три периода. Подготовительный период включал в себя подбор картографических материалов и предварительное тематическое картирование территории на основании составленной мозаики нескольких спектрональных изображений спутников Landsat (вся территория хозяйств), и QuickBird (участки выполнения полевых наблюдений), полученных из открытых источников, сбор архивных данных и опубликованных научных отчетов. Несмотря на то, что территория восточной части Большеземельской тундры и Югорского п-ва и прилегающих районов привлекали внимание многих исследователей-ботаников, к настоящему времени обобщенных сведений о растительности по региону недостаточно. В работах большинства авторов содержатся только краткие сведения по растительности это-

го региона. Наиболее полным обобщением по растительному покрову территории, включающим обзор зональных особенностей и геоботаническое районирование, характеристику сообществ и их площадное соотношение, является работа В.Н. Андреева (1935).

Период полевых исследований состоял в выполнении аэровизуальных наблюдений и натурных наблюдений территории в период июля 2012 г. В ходе данного этапа были выполнены общие описания флоры и растительности, почв в пределах естественных и нарушенных сообществ, проведено дешифрирование ландшафтных единиц, измерены нарушенные площади (рис. 1). Для повышения степени визуального охвата территории к работе привлекали радиоуправляемый летательный аппарат, с установленной на нем системой радиуправления и фотокамерой.



*Рис. 1. Локализации модельных участков и выполненных аэровизуальных маршрутов и участков полевых исследований. Сверху вниз: 1 - Мыс Вылкин Нос, побережье Карского моря, 2 – долина р.Сибирчатаяха, в 2,7 км выше устья реки Сесыяю, 3 - берег оз. Тадебямботы в месте выхода ручья Тадеаямбатывис, 4 - устье р. Фома-ю, 5 - урочища Ручьюнюр, в окр реки Бол. Роговая*

Камеральный период работы включал обработку результатов, подготовку тематических карт растительности, разработку легенды, выявление связи спектральных характеристик и хозяйственных параметров фитоценозов (представленность в контурах отдельных классов растительности, запасы травянистых и кустарниковых кормов), подготовку атрибутивной базы данных по хозяйственным контурам, оценку показателей оленеёмкости и разработку итогового проекта внутривладельческой организации пастбищ.

### Результаты работ

Исследуемая территория оленьих пастбищ модельных хозяйств расположена на крайнем северо-востоке Европейской части России и протягивается с юго-запада на северо-восток от 65°40' до 69°35' с.ш. на 450 км, пересекает три различных природных подзоны: крайнесеверной тайги, лесотундры и тундры, что существенно осложняет выполнение картирование растительного покрова. По физико-географическому районированию район исследований относится (с юга на север) к Печорской и Малоземельско-Большеземельской провинциям Русской равнины и к Пай-Хойской провинции Полярно-Уральской области (Физико-географическое районирование СССР, 1968). В ходе выполненных предварительных работ проведено геоботаническое картирование доминирующих растительных сообществ территории методами управляемой классификации по материалам спутниковых съемок Landsat TM (масштаб 1 : 100 000) с выделением отдельных классов земной поверхности и доминирующих фитоценозов (*табл. 1*). Для выявления доминирующих классов земной поверхности и естественных фитоценозов, распространенных на территорию хозяйств, были выполнены геоботанические и аэровизуальные наблюдения с детальными геоботаническими обследованиями в пределах пяти модельных участков. В ходе последующей тематической обработки собранных материалов разработана и обобщена технология, предусматривающая выполнение ряда этапов для выполнения инвентаризационных работ оленеводческих хозяйств.

**Этап I.** Подбор доступных картографических материалов и предварительное тематическое картирование исследуемой территории на основании спектрально-аналитических спутниковых изображений (Landsat и QuickBird), полученных из открытых источников. Сбор архивных данных и опубликованных научных отчетов на территорию работ. Для выявления климатогенных и погодных влияний на растительный покров рассматриваемого года или серии лет выполнен подбор изображений, относящихся к контрастным по погодным условиям годам, с предварительным анализом метеорологических характеристик вегетационного периода данных лет. В ходе работы устанавливаются пары или серии изображений со сходными и различающимися характеристиками, определяемыми погодными условиями.

Таблица 1. Пример разработанной классификации для территории пастбищных угодий ОАО «Абезь»

|  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1. Лишайниковые тундры               <ul style="list-style-type: none"> <li>1.1. мохово-лишайниковая</li> <li>1.2. кустарничково-лишайниковая тундра с пятнами медальонами</li> <li>1.3. мелкоерниковая мохово-лишайниковая тундра</li> <li>1.4. редковивняковая дриадово-мохово-лишайниковая</li> <li>1.5. разреженные кустарничковые сообщества на песчаных раздувах</li> </ul> </li> <li>2. Моховые тундры               <ul style="list-style-type: none"> <li>2.1. мелкоерниковая осоково моховая с примесью ив</li> <li>2.2. пушицево-(разнотравно) моховая (побережье)</li> <li>2.3. ивняково-моховая</li> <li>2.4. травяно-кустарничково-лишайниково-моховая</li> </ul> </li> <li>3. Кустарничковые тундры               <ul style="list-style-type: none"> <li>3.1. кустарничково-лишайниковая</li> <li>3.2. кустарничково-моховая</li> </ul> </li> <li>4. Кустарниковые сообщества               <ul style="list-style-type: none"> <li>4.1. Ерники                   <ul style="list-style-type: none"> <li>4.1.1. Ерники моховые</li> <li>4.1.2. Ерники травяные</li> <li>4.1.3. Ерники сфагновые                       <ul style="list-style-type: none"> <li>4.1.3.1. Ерники лишайниковые</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>4.2. Ивняки                   <ul style="list-style-type: none"> <li>4.2.1. Ивняки разнотравные</li> <li>4.2.2. Ивняки осоковые</li> <li>4.2.3. Ивняки сфагновые</li> <li>4.2.4. низкорослые ивняки сфагновые</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>5. Болота и болотные комплексы               <ul style="list-style-type: none"> <li>5.1. Бугристо-мочажинные болота</li> <li>5.2. Травянистые болота (низинные)</li> <li>5.3. Осоково-моховые с низкорослой ивой</li> <li>5.4 Сфагновые</li> <li>5.5. Мелкокочковатые кустарничково-лишайниковые</li> </ul> </li> <li>6. Склоновые и нивальные луга пойм рек и ручьев               <ul style="list-style-type: none"> <li>6.1. Луга пойменные вдоль крупных рек (заливные)</li> <li>6.2. Хасыреи</li> <li>6.3. Приморские галофитные луга (тампы)</li> </ul> </li> <li>7. Участки песчаных раздувов, пески береговой линии, слабозарастающие группировки псаммофитов, пляжи вдоль рек, антропогенно-нарушенные, частично рекультивированные или площадки первичного зарастания, песчаные карьеры</li> <li>8. Леса и редколесья               <ul style="list-style-type: none"> <li>8.1. Разреженный ельник ерничково-лишайниково-зеленомошный</li> <li>8.2. Ельник долгомошно-сфагновый</li> <li>8.3. Ельник ерничково-зеленомошный</li> <li>8.4 Ельник травяно-сфагновый</li> <li>8.5. Березняк (зарастающие гари) с примесью ели</li> </ul> </li> <li>9. Водные поверхности</li> <li>10. Скальные выходы, осыпи, гольцы.</li> </ul> |
|--|--|

**Этап II.** Выполнение полевых исследований территории на модельных участках, подобранных по предварительной классификации (рис. 1). Полевые наблюдения включают описания флоры и доминирующих классов растительности, почв в пределах естественных и нарушенных сообществ пастбищных угодий исследуемого хозяйства, аэровизуальное дешифрирование ландшафтных единиц и геоботанических границ в ходе вертолетных маршрутов с акцентом на выявление нарушенных площадей и сукцессионно изменяющихся фитоценозов.

**Этап III.** Создание единой картографической основы требуемого масштаба (гидрографическая сеть, производственные объекты и инфраструктура, изолинии рельефа). Подготовка полигональной структуры контуров хозяйственных выделов (рис. 2).

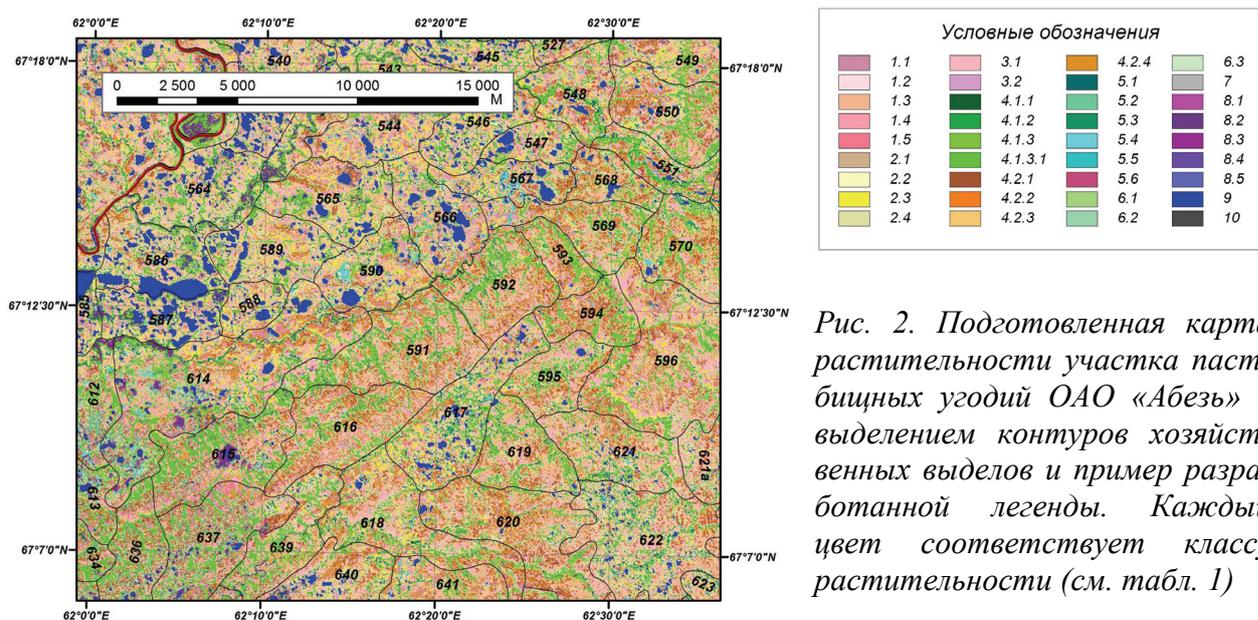


Рис. 2. Подготовленная карта растительности участка пастбищных угодий ОАО «Абезь» с выделением контуров хозяйственных выделов и пример разработанной легенды. Каждый цвет соответствует классу растительности (см. табл. 1)

**Этап IV.** Выполнение управляемой поэтапной классификации растительного покрова в программных пакетах ENVI и ErdasImagine. В качестве источника данных выступают материалы спутниковых изображений оптического диапазона электромагнитного спектра (*Landsat*), позиционированные полевые геоботанические описания, данные аэровизуальных вертолетных наблюдений. В ходе этапа выполняется тематическое геоботаническое картирование доминирующих контуров растительного покрова территории в масштабе до 1 : 50 000. Качество подготовленных геоботанических карт оценивается на основании подготовленной матрицы сходимости между выделенными классами растительного покрова по материалам спутниковых съемок и данными полевых наблюдений. Полученные уточненные материалы используются для расчета проективного покрытия выделенных растительных сообществ в пределах отдельных хозяйственных контуров с использованием программного пакета ErdasImagine.

**Этап V.** Оценка количественных характеристик запаса отдельных кормовых единиц (лишайниковые и зеленые (кустарниковые, травяные) корма). При обработке изображений используются принципы декомпозиции спектральных смесей (метод *SMA*, *Spectral Mixed Analysis*), исходя из положения, что доля компонент при этом принимается пропорционально их площади в проекции на земную поверхность. Это позволяет количественно оценить вклад отдельных компонент в отражательную способность элементов изображения (Барталев и др., 2009). В качестве «чистых компонент» использовали параметры, полученные для открытых пологих участков. В настоящее время эффективность использования методов *SMA*-анализа в анализе состава кормовых ресурсов оленьих пастбищ подтверждена исследователями Скандинавии (Gilichinsky et al., 2010), Канады (Theau et al.,

2005). Оценку долей отдельных компонент (для линейного смешивания спектров) проводили в соответствии выражения:

$$DN_c = \sum_{i=1}^n F_i * DN_{i,c} + E_c, \quad (1)$$

учитывая ряд ограничений:

$$\sum_{i=1}^n F_i = 1 \quad 0 \leq F_i \leq 1, \quad (2)$$

где  $DN_c$  – числовое выражение значения пиксела в канале  $c$ ,  $F_i$  – доля  $i$ -го эталона в смеси,  $DN_{i,c}$  – числовое выражение значений  $i$ -го эталона в смеси в канале  $c$ ,  $n$  – количество эталонов,  $E_c$  – ошибка оценки для канала  $c$ . Оценка полученных материалов с данными полевых и аэровизуальных наблюдений (рис. 3).

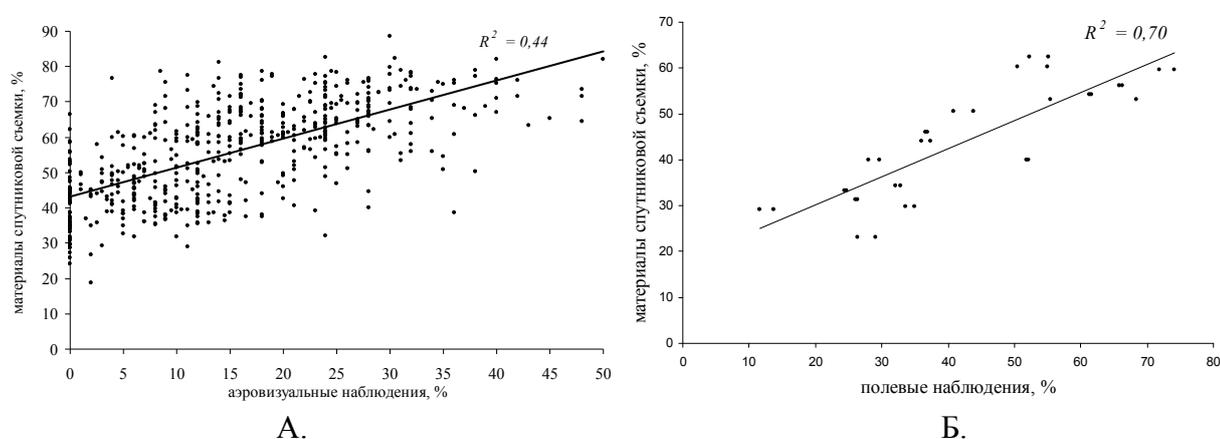


Рис. 3. Отношение характеристик проективного покрытия лишайникового покрова (А) и сомкнутости крон древесного яруса (Б), выполненные по спутниковым, аэровизуальным и полевым измерениям

**Этап VI.** Подготовка пространственно-организованной базы данных, включающей в себя полигональные объекты (векторные слои хозяйственных выделов) и связанные с ними через персональный идентификатор атрибутивные данные по площади контуров хозяйственных выделов, представленность и площадь отдельных классов растительности и земной поверхности, средний запас кормовых единиц (рис. 4).

**Этап VII.** Создание хозяйственных карт запаса кормов по выделам. Использование полученных материалов в качестве источника данных для перевода в хозяйственные единицы (оленеёмкость, количество дней на выделе и т.д.) через ранее установленные и регионально адаптированные коэффициенты (Темноев, 1961; Титов Е.А. - ФГУП «Госземкадастръёмка» - ВИСХАГИ), подготовка итогового проекта обустройства пастбищных угодий для отдельных хозяйств.

## Заключение

Таким образом, представленная технология представляет собой систему последовательных операций, направленных на сбор, обобщение, анализ и построение информационного продукта, составленного тематическими картами и атрибутивными базами данных для выполнения ресурсной оценки пастбищных угодий северного оленя по спектрально-спутниковым данным. Преимущество предлагаемой технологии определяется следующими показателями, позволяющими:

а) выполнять оперативную работу по инвентаризации пастбищных угодий оленеводческих хозяйств с использованием автоматизированных средств, оценивать состояние растительных ресурсов и их количественные характеристики в пределах выделенных хозяйственных контуров;

б) выполнять крупномасштабное (до 1 : 50 000) тематическое картирование растительного покрова в пределах отдельных оленеводческих хозяйств;

в) оценивать запас лишайниковых и зеленых (травяные, кустарниковые) кормов в года, различающиеся по климатическим и погодным условиям;

г) интегрировать полученные материалы в тематические базы данных;

д) минимизировать ошибку, связанную с влиянием флуктуации погодных и климатических параметров различных лет, и исключить ошибку, связанную с визуальным дешифрированием, выполняемым при аэросъемке;

е) снизить в 10-15 раз финансовые затраты работ за счет устранения значительной части времени аэровизуального обследования;

ж) полученные материалы активно интегрируются в ГИС-системы для дальнейшего использования.

Работа выполнена в рамках программ научных исследований УрО РАН «Реакция экосистем криолитозоны Европейского Севера и Западной Сибири на климатические флуктуации последних десятилетий» (12-С-4-1018) и «Ресурсный и биотехнологический потенциал растений Урала и сопредельных территорий европейского северо-востока России» (12-И-4-2072).

## Литература

1. Андреев В. Н. Растительность и природные районы восточной части Большеземельской тундры // Труды Полярной комиссии. Вып. 22. М.-Л., 1935. 97 с.
2. Барталев С.А., Ховратович Т.С., Елсаков В.В. Использование спутниковых изображений для оценки потерь углерода лесными экосистемами в результате вырубок // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2009. Т. 2. № 6. С. 343–351.

3. *Елсаков В.В., Щанов В.М., Беляева Н.В.* Спутниковые методы исследований в мониторинге и картировании пастбищных угодий северного оленя // *Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса*. 2011. Т. 2. № 8. С. 201–207.
4. *Полежаев А.Н.* Информационная система по биоразнообразию и биоресурсам Севера Дальнего Востока // *Флора и климатические условия Северной Пацифики*. Магадан, 2001. С. 117–135.
5. *Сыроватский Д.И.* Экономика и организация оленеводческого производства. 2000. 408 с.
6. *Темноев Н.И.* Геоботанические обследования на севере Якутии в связи с землеустройством оленьих пастбищ // *Ботан. журн.* 1961. Т.46, № 10. С. 1497–1503.
7. ТУ по геоботаническому обследованию оленьих пастбищ. Министерство сельского хозяйства РСФСР. М.: Росземпроект, 1985. С.136.
8. Физико-географическое районирование СССР (характеристика региональных единиц). Ред. Гвоздецкий Н.А. М.: МГУ, 1968. 575 с.
9. Ямало-Ненецкий АО // [www.priroda.ru/regions/earth/detail.php?SECTION\\_ID=&FO\\_ID=558&ID=6275](http://www.priroda.ru/regions/earth/detail.php?SECTION_ID=&FO_ID=558&ID=6275)
10. *Gilichinsky M., Sandström P., Reese H., Kivinen S., Moen J., Nilson M.* Application of national inventory for remote sensing classification of ground lichen in North Sweden // *ISPRS Arcive Vol. XXXVIII, Part 4-8-2-W9, «Core Spatial Databases – Updating, Maintenance and Services – from Theory to Practice»*, Haifa, Israel, 2010. P.146–152.
11. *Olofsson J., Kitti H., Rautiainen P., Stark S. & Oksanen L.* Effects of summer grazing by reindeer on composition of vegetation, productivity and nitrogen cycling // *Ecography*. 2001.24: 13–24.
12. *Theau J., Peddle D.R., Duguay C.R.* Mapping lichen in a caribou habitat of Northern Quebec, Canada, using an enhancement-classification method and spectral mixture analysis // *Remote Sensing of Environment*. Vol. 94. 2005. P.232–243.
13. *Väre H., Ohtonen R. & Oksanen J.* Effects of reindeer grazing on under story vegetation in dry *Pinus sylvestris* forests // *J. Veg. Sci.* 1995. 6: 523–530.

## A technology of on-line resource estimation of reindeer pastures from optical remote sensing data

V.V. Elsakov

*Institute of Biology Komi SC UrD RAS  
Syktyvkar167610, Russia  
E-mail: elsakov@ib.komisc.ru*

A technology for reindeer pastures inventory on-line construction from optical remote sensing data was developed and verified for reindeer husbandry areas in northeastern European Russia. The obtained results are represented by a GIS-system incorporating attributive tables of land-using orientation. The inventory results take into account the seasonal and interannual variability of pastures conditions. The primary results of processing are geobotanical maps and quantitative characteristics of individual stock fodder units (lichen and green (shrub, herb) phytomass). Quantitative characteristics of vegetation cover were calculated using the principles of spectral decomposition of mixtures (Spectral Mixed Analysis). The materials obtained constitute a spatially organized database including polygonal objects (vector layers of reindeer husbandry units) and attribute data related via personal identifiers. The results are used to make economic estimates (reindeer capacity, number of pasture days, etc.) based on previously established and regionally adapted coefficients. The advantages of the suggested technology (low subjectivity, costs, accuracy) over traditional systems are discussed.

**Keywords:** reindeer pastures, spectrazonal satellite data, inventory of vegetation resources.

### References

1. Andreev V. N., *Rastitel'nost' i prirodnye raiony vostochnoi chasti Bol'shezemel'skoi tundry (Vegetation and natural areas of eastern part of Bolshezemel'skaya tundra)*, *Trudy Polyarnoi komissii*, Moscow, 1935, Issue 22, 97 p.
2. Bartalev S.A., Khovratovich T.S., Elsakov V.V., *Ispol'zovanie sputnikovykh izobrazhenii dlya otsenki poter' ugleroda lesnymi ekosistemami v rezul'tate vyrubok (Estimation of carbon losses in a forest ecosystem caused by logging with the use of satellite data)*, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa*, 2009, Vol. 2, No 6, pp. 343–351.
3. Elsakov V.V., Shchanov V.M., Belyaeva N.V., *Sputnikovye metody issledovani v monitoringe i kartirovani pastbishchnykh ugodii severnogo olenya (The satellite data for inventory and monitoring of reindeer pastures*

- at European Russia), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 2, No 8, pp. 201–207.
4. Gilichinsky M., Sandström P., Reese H., Kivinen S., Moen J., Nilson M., Application of national inventory for remote sensing classification of ground lichen in North Sweden, *ISPRS Archive*, Vol. 37, Part 4-8-2-W9, Israel: Haifa, 2010, pp.146–152.
  5. Gvozdetskii N.A., *Fiziko-geograficheskoe raionirovanie SSSR (kharakteristika regional'nyi edinits)* (Physico-geographical regionalization of the USSR (the characteristic regional units), Moscow: Moscow State University, 1968. 575 p.
  6. [http://www.priroda.ru/regions/earth/detail.php?SECTION\\_ID=&FO\\_ID=558&ID=6275](http://www.priroda.ru/regions/earth/detail.php?SECTION_ID=&FO_ID=558&ID=6275)
  7. Olofsson J., Kitti H., Rautiainen P., Stark S., Oksanen L., Effects of summer grazing by reindeer on composition of vegetation, productivity and nitrogen cycling, *Ecography*, 2001, Vol. 24, pp. 13–24.
  8. Polezhaev A.N., Informatsionnaya sistema po bioraznoobraziyu i bioresursam Severa Dal'nego Vostoka (Information system on biodiversity and bioresources of Northern Far East), *Flora i klimaticheskie usloviya Severnoi Patsifiki*, Magadan, 2001, pp. 117–135.
  9. Syrovatskii D.I., *Ekonomika i organizatsiya olenovodcheskogo proizvodstva* (The economic and organization of reindeer production), 2000, 408 p.
  10. Temnoev N.I., Geobotanicheskie obsledovaniya na severe Yakutii v svyazi s zemleustroistvom olen'ikh pastbishch (Geobotanical survey in northern Yakutia in connection with land management reindeer pastures), *Botanicheskii zhurnal*, 1961, Vol. 46, No. 10, pp. 1497–1503.
  11. Theau J., Peddle D.R., Duguay C.R., Mapping lichen in a caribou habitat of Northern Quebec, Canada, using an enhancement-classification method and spectral mixture analysis, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 94, 2005, pp. 232–243.
  12. *TU po geobotanicheskomu obsledovaniyu olen'ikh pastbishch* (Technical setup for geobotanical inspection of reindeer pastures). Ministerstvo sel'skogo khozyaistva RSFSR. Moscow: Roszemproekt, 1985, 136 p.
  13. Väre H., Ohtonen R. & Oksanen J. Effects of reindeer grazing on under story vegetation in dry *Pinus sylvestris* forests, *J. Veg. Sci.*, 1995, Vol. 6, pp. 523–53.