

# Технологии спутникового мониторинга в исследовании лесных островов большеземельской тундры

В.В. Елсаков

*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар*  
*E-mail: [elsakov@ib.komisc.ru](mailto:elsakov@ib.komisc.ru)*

В работе проведен анализ возможностей использования технологий спутникового мониторинга применительно картирования сообществ еловых редколесий Большеземельской тундры. Показано, что данный класс растительных сообществ обладает индивидуальными характеристиками оптических, температурных и радиолокационных показателей, что может использоваться как дополнительные критерии для повышения уровня корректности при классификации растительного покрова, при выявлении экологических и структурных особенностей их организации.

## Введение

Массивы островных и пойменных ельников, изолированные от северной границы распространения ели сибирской (*Picea obovata*) в суббореальный период голоцена, достаточно широко представлены на отдельных участках южных гипоарктических тундр территории Ненецкого автономного округа и Республики Коми. В последние годы существенно возрос интерес к исследованиям «лесных островов» тундры, связанный с проблемой изменения климата, генетического своеобразия изолированных популяций растений и флористическими особенностями сообществ. В отечественной литературе достаточно подробно представлены результаты исследований отдельных компонентов данных экосистем: почв [1], флористического состава растительных сообществ [2].

Цель настоящей работы заключалась в исследовании возможностей использования данных дистанционного зондирования (ДЗ) высокого разрешения, применительно анализа пространственного распределения участков островных ельников и их количественных характеристик.

## Материалы и методы

Данные дистанционного зондирования спутника Landsat 7 сенсор ЕТМ+ получены для 1.06 и 21.07 2000 г. (7:33 и 7:20 GMT, соответственно). Поскольку данные представлены одним сенсором, радиометрической коррекции значений каналов снимков не проводили. Для модельной территории 6х20 км методом экспертного дешифрирования, с привлечением ранее выполненных данных полевых исследований, была проведена управляемая классификация с выделением доминирующих групп растительных сообществ.

Интегрирующая роль температурного показателя (температура земной поверхности), как индикатора ландшафтных условий, обусловила подготовку тематических карт распределения температуры на поверхности. Перевод яркостных характеристик шестого канала (10.4-12.5 мкм) в значения абсолютных температур поверхности (°С) выполнено в соответствии с общепринятой методикой [3]. Значения температуры поверхности связаны с одной стороны с экзогенными причинами - поступлением и перераспределением солнечной радиации на земной поверхности (приуроченность растительных сообществ к элементам рельефа, экспозицией склонов и т.д.). С другой - со структурными особенностями растительных сообществ (толщина мохового слоя, проективное покрытие отдельных ярусов и запас фитомассы), почвенными условиями (толщиной органических горизонтов, механическим составом почв, особенностями залегания мерзлых пород и толщиной сезонно-талого слоя), водным режимом (обводненность территории, степень дренирования) и др.

Приблизительную оценку распределения запасов фитомассы в сообществах проводили на основании расчета и сравнения значений нормализованного вегетационного индекса (NDVI):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

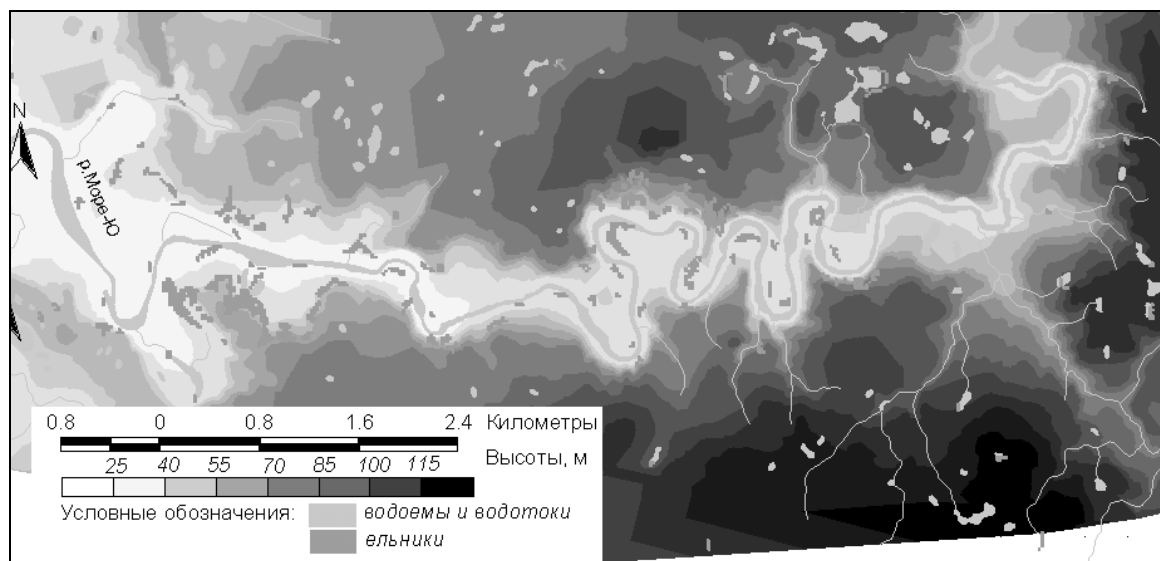
где *NIR* – значение отражения в ближней инфракрасной области спектра, *RED* – отражение в красной области спектра.

Орографическая и гидрографическая сеть территории, оценка уклона склоновых поверхностей представлена на основании обработки цифровой модели местности (*Digital Elevation Model, DEM*), составленной по топографическим материалам.

В качестве дополнительного источника данных, используемого при выделении участков еловых редколесий, опробовались данные ERS-2, представленные Европейским космическим агентством в рамках программы Category-1 (Scientific) (ID 3845).

### Результаты

При проведении управляемой классификации значения сигнатур ельников достаточно сходны с отдельными пикселями изображения сообществ прибрежно-водной растительности озер (моновидовые осоковые сообщества и ивняки осоковые) и ивняков травяных. Общая площадь фрагментов лесных массивов для модельного участка территории составила порядка 206.5 га (**рис. 1**). Пространственный анализ показал, что массивы ельников связаны в расположении преимущественно с пологими (4-8°) склонами как южной так и северной экспозиции, а также пойменными участками.



*Рис.1. Распределение островных и пойменных ельников на территории по ДДЗ Landsat ETM+ (2000 г.)*

Абсолютные значения температуры земной поверхности (*T*, °C) для 1.06 и 21.07 2000 г. определялись сезоном съемки. Наибольшие значения для периода наблюдений приурочены к дренированным участкам на положительных формах рельефа.

В качестве характерной черты участков с островными ельниками выделена смещение температурного оптимума в более «теплую» область (для ельников интервал 13-19 °C), чем для большинства других сообществ в начале вегетационного периода (общий интервал для всех классов растительных сообществ 5-22 °C). В меньшей степени данная специфичность отмечена для середины вегетационного периода (18-22 и 16-26 °C, соответственно) (**рис.2**).

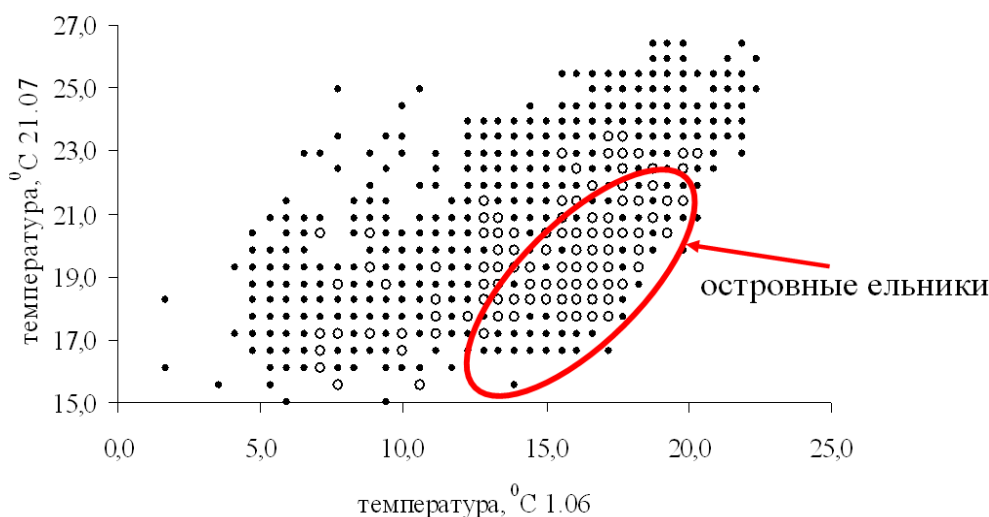


Рис. 2. Особенности температурного режима островных ельников

Соотношение различных групп растений определяет суммарные спектральные свойства растительных сообществ. Значения индекса, рассчитанные для отдельных видов на основании данных, полученных с использованием переносного портативного спектрорадиометра ASD Field Spec HH (США) демонстрирует снижение значений NDVI в ряду: сосудистые растения → мхи → лишайники (табл. 1).

Таблица 1. Расчет индекса NDVI отдельных растений (июль 2004 г)

Объекты:	NIR	RED	NDVI
<i>Picea obovata</i> (хвоя)	0.59	0.10	0.71
<i>Vaccinium uliginosum</i> (листья)	0.71	0.17	0.61
<i>Flavocetraria nivalis</i> (талломы)	0.22	0.09	0.41
<i>Cetraria islandica</i> (талломы)	0.27	0.19	0.18
<i>Cetrariella dileixi</i> (талломы)	0.16	0.07	0.37

Анализ значений индекса NDVI по снимкам Landsat (разрешение 30x30 м) позволил установить основные особенности накопления фитомассы в сообществах в течение вегетационного периода 2000 г. Наименьшие значения отмечены на снимках, приуроченных к началу вегетационного периода (показатель варьировал от -0.45 до 0.09), наибольшие для периода съемки 21.07 (от -0.28 до 0.4). Для всех растительных сообществ района отмечена линейная зависимость увеличения значения индекса в течение периода наблюдений ( $y = 0.48x - 0.28$ ;  $r = 0.64$ ), что связано с развитием зеленой фитомассы травянистых растений и кустарников.

Значения индекса для выделенного класса ельников отличались меньшей изменчивостью (1.06 в пределах от -0.17 до 0.33 и 21.07 от 0.01 до 0.49), что обусловлено постоянным наличием запаса зеленой массы в хвое *Picea obovata*. Данные особенности отмечены и для группы лишайниковых тундр, значения индекса для которых имели низкие показатели в течение всего вегетационного периода.

Данные особенности были использованы для более детального выделения сообществ островных ельников по ДДЗ. Так, общий класс выделенных ельников может быть дополнительно разделен на две группы (рис.3): класс 1 (от -0.06 до -0.01 для 1.06 и 0.33 до 0.45 для 21.07) и класс 2 (от -0.17 до -0.04 для 1.06 и 0.48 до 0.51 для 21.07). Разделение групп зависит от вклада кустарников в общее проективное покрытие сообществ.

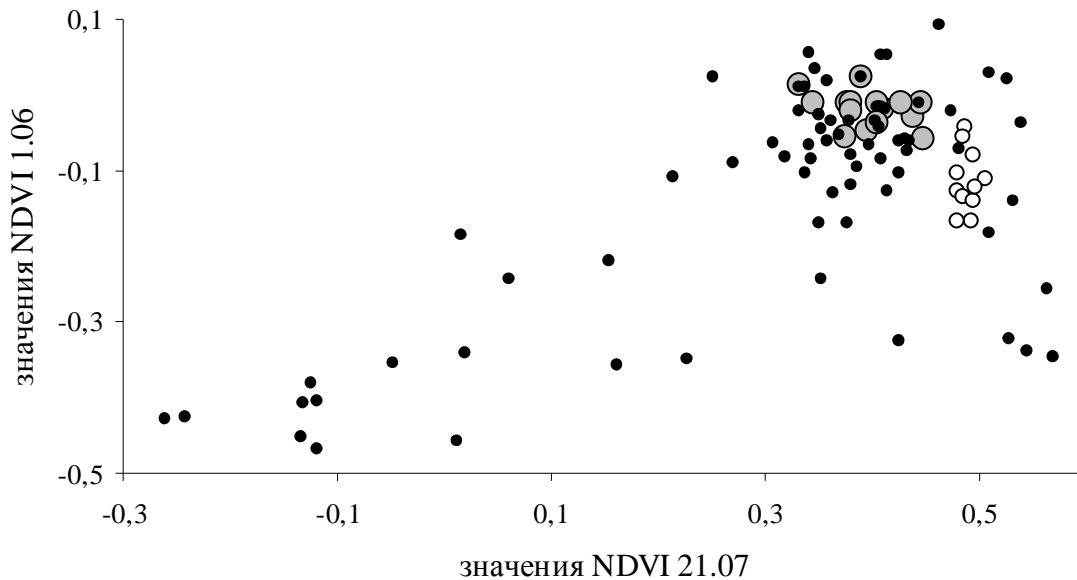


Рис. 3. Распределение отдельных растительных сообществ в шкалах значений индекса NDVI. Условные обозначения:

◐ ельники (класс 1) ○ ельники (класс 2) ● другие сообщества

Оценка количественных изменений величины УЭПР, по радарным данным (ERS-2), связанная с сезонной изменчивостью растительных сообществ, была выполнена при анализе изображений, полученных в интервале наиболее близких условиях съемки (угол съемки, атмосферные условия, влажность субстратов). Для островных ельников максимальные значения показателя были сопоставимы с сообществами ивняков-травяных (-6.7 и -7.2 дВ, соответственно), что связано с доминированием в кустарниковом ярусе обоих сообществ видов ив. Однако сезонный ход значений величины для островных ельников варьировал в интервале меньших значений (интервал изменений для данных сообществ составил 4.5 and 2.1 дВ) (рис.4), в сравнении с ивняками травяными, что может быть использовано в качестве дополнительного критерия при проведении классификации растительного покрова.

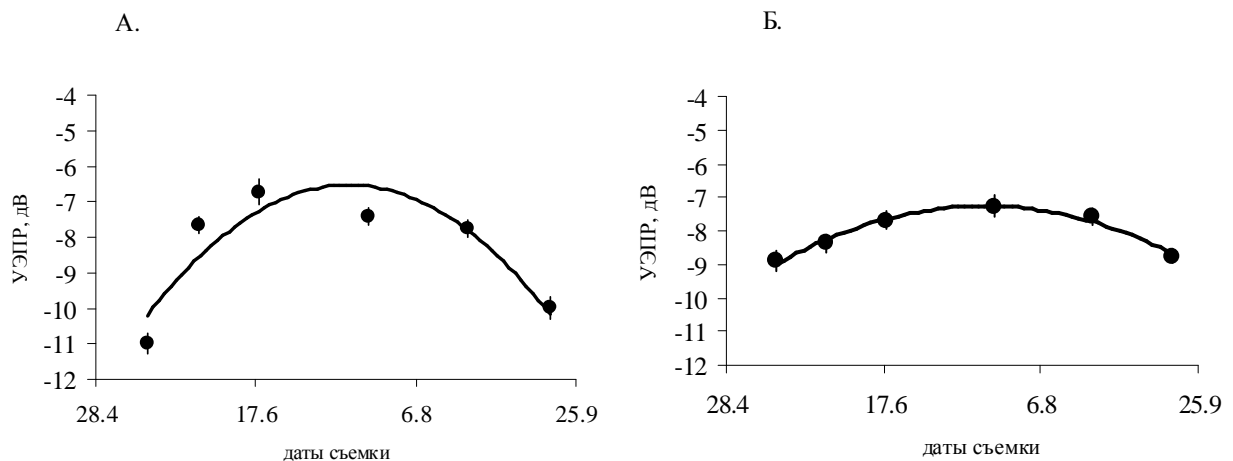


Рис. 4. Динамика величины УЭПР для групп сообществ: ивняков-травяных и островных ельников. Представлены средние значения и размах ошибки средней

Таким образом, полученные результаты демонстрируют широкие возможности привлечения технологий спутникового мониторинга применительно оценки как пространственных, так и временных характеристик компонентов естественных фитоценозов. Тестирование отдельных алгоритмов разделения классов фитоценозов показало, что применительно классификации единиц растительного покрова могут выступать как прямые характеристики (спектральные яркости каналов) так и производные (рассчитанные коэффициенты и амплитуда их варьирования).

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия отечественной науке.

### Литература

1. *Русанова Г.В., Денева С.В.* Почвы реликтовых островков ели на северо-западе Большеземельской тундры // Лесоведение. 2006. №2. С.21-25.
2. *Лавриненко О.В., Лавриненко И.А.* Островные ельники восточно-европейских тундр // Ботанический журнал. 2003. Т. 88. № 8. С. 59-77.
3. *Chander G., Markham B.* Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges // IEEE transactions on geoscience and remote sensing. Vol. 41. No. 11. 2003. Pp. 2674-2677.