

Развитие системы спутникового мониторинга экосистем европейских тундр с использованием данных SAR/ERS-2

В.В. Елсаков

*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
167610 Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28
E-mail: elsakov@ib.komisc.ru*

В работе представлены результаты, полученные в ходе тестирования возможностей использования данных SAR/ERS-2, применительно целей тематического картирования растительного и почвенного покровов тундровой зоны, глубины оттаивания сезонно-талого слоя, мониторинга антропогенно-нарушенных участков, совместного использования с данными оптических сенсоров Landsat. Работа выполнена в рамках программы CAT-1 Европейского космического агентства (ID 3845) «Ecosystem monitoring development in the European Russian tundra based on SAR/ERS-2 data».

Введение

Использование материалов радарной съемки применительно тундровых экосистем связано с возможностями их привлечения для анализа геометрических свойств земной поверхности (микро и нанорельеф) и построения цифровых моделей рельефа, анализа распределения показателей, зависящих от диэлектрической постоянной: влажности почв [1-3], содержания солей [4], гранулометрического состава [5], глубины оттаивания сезонно-талого слоя мерзлоты [6]. Изучены и возможности их использования в исследовании растительного покрова: запаса надземной фитомассы [7, 8], границ растительных сообществ [9] и т.д. В большинстве случаев тематическая интерпретация материалов, полученных в ходе обработки данных радарной съемки, основана на биогеоэкологических подходах, рассматривающих тесную связь между характеристиками составляющих экосистему компонентов. Общепризнанное преимущество радиолокации определяется всепогодностью съемки (т.е. не зависит от естественной освещенности и состояния атмосферы), что особенно важно для района северо-востока европейской части России. К примеру, для территории Ненецкого автономного округа, большую часть дней в году составляют дни с полужасным и пасмурным состоянием неба. Вероятность пасмурного состояния неба по данным метеостанции Пустозерск (Нарьян-Мар) в среднем варьирует от 62 в июле, до 78% в сентябре [10]. Кроме того, разрешающая способность наиболее широко используемых радиолокационных снимков высокого разрешения превышает таковую большинства оптических сенсоров (для ERS-2, Landsat и Aster соответственно 12.5 м, 28.5 м и 15 м).

Большая часть тундровой и лесотундровой зон Республики Коми и Ненецкого автономного округа относится к территориям с высокой степенью заболоченности и массивно-островного распространения многолетнемерзлых пород с присутствием сезонно-талого слоя. Поэтому, для исследования пространственных закономерностей распределения и оценки количественных параметров почвенно-растительного покрова данные радиолокационной съемки являются достаточно важным источником информации.

Материалы и методы

Предметом настоящей работы стали исследования, связанные с изучением возможностей использования данных, полученных станциями бокового обзора радарными с синтезированной апертурой антенны (РСА), применительно оценки временных и пространственных изменений экосистем Большеземельской тундры (север Республики Коми и Ненецкий автономный округ). Наиболее важным параметром съемки является отражательная способность объектов и фона, создающая

все прямые и косвенные дешифровочные признаки объектов. В качестве единицы измерения использована безразмерная величина удельной эффективной площади рассеяния (УЭПР, σ_0), выражающая среднее количество мощности, отраженной энергии в направлении к источнику электромагнитного излучения от единицы площади поверхности при условии, что мощность падающей волны известна [11]. Реализация работы стала возможной после утверждения проекта Европейским астрономическим союзом (ESA) «Развитие системы мониторинга Европейских тундр России с использованием радарных данных SAR/ERS (ID 3845)» по системе Category-1 (Scientific) и представления оперативных и архивных изображений съемки PCA (PRI, разрешения 12.5 м) за период 1995-2006 гг. Данный прибор установлен на спутнике-носителе ERS-2 (*European Remote Sensing Satellite*), и находится на орбите с апреля 1995 г. Особенность данных состоит в использовании волн длиной 5.66 см, частотой 5.3 ГГц, С диапазона, VV поляризации.

Для двух выбранных модельных участков (100x100 км), расположенных на территории Большеземельской тундры (р-н междуречья рек Лая и Харьяга, Воркутинский район РК), и включающих как естественные (ненарушенные) территории, расположенные в географических, экологических, гидрологических, мерзлотных градиентах условий, так и затронутые хозяйственной деятельностью, была составлена временная серия изображений (различных лет и отдельных их сезонов). Для подготовленных серий проведена географическая коррекция изображений и импорт яркостных характеристик в значения σ_0 (dB).

Результаты

Наблюдения за антропогенно - нарушенными территориями. Анализ изображений ERS-2, приуроченных к разным годам, демонстрирует возможность привлечения данных PCA для фиксирования и выявления изменений площадей с нарушениями почвенно-растительного покрова. На изображении одного из нефтяных месторождений, расположенного в междуречье рек Лая и Харьяга, достаточно отчетливо выявляются участки нарушений вблизи нефтепроводов, площадок кустов и одиночных буровых скважин, организованные вездеходные дороги и несанкционированные участки движения техники (рис. 1а). Комбинация спутниковых материалов за период 1980-2006 гг. позволяет установить на участке отвода месторождения наличие нарушений на площади 2-3 км², что сопоставимо с данными, полученными по оптическим сенсорам Landsat.

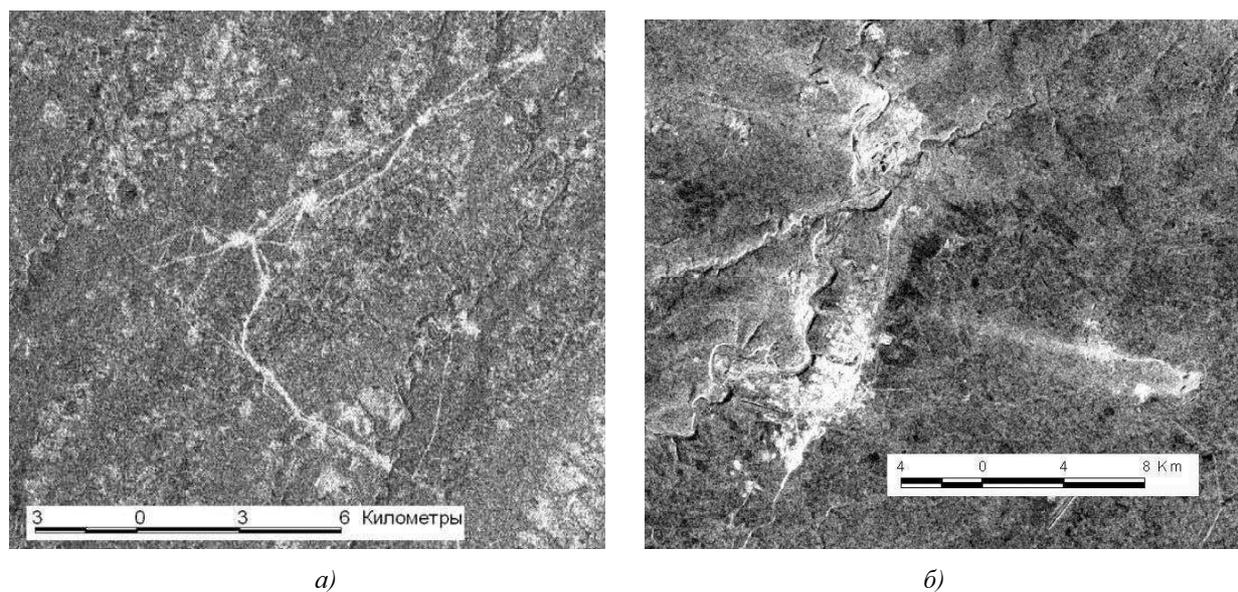


Рис. 1. Инфраструктура месторождения. Пример радиолокационного изображения ERS-2 (июль 2006 г, облачность 80 %) (а). RGB-композиция ERS-2. Представлены даты 9 и 28 апреля и 14 мая (б)

Анализ изображений ERS-2 показал возможность наблюдений и за направлением эмиссии пылевых шлейфов от источников выбросов на территории Воркутинского промышленного узла. На изображениях полученных для весеннего периода пылевые шлейфы хорошо детектируемы, направлены в юго-западном направлении в соответствии с преобладающими в этот период времени ветрами. Границы пылевых выбросов, фиксируемые по данным РСА, обнаруживают сходство с результатами, полученными по оптическим данным (Landsat ETM+) [12]. На рис. 16 представлено изображение, демонстрирующее пылевые выбросы от ТЭЦ г. Воркута.

Тематическое картирование сезонно-талого слоя. Данные ERS-2 были использованы в качестве основы при проведении экспертного тематического картирования почв и сезонно-талого слоя Воркутинских тундр. Незначительная теплопроводность и избыточная влажность являются основными причинами низкой интенсивности минерализации, торфонакопления и глееобразования. На территории широко представлены тундровые поверхностно-глеевые и торфяно-болотные почвы. Различия содержания влаги в почвах выступают в качестве одной из основных причин, влияющих на формирование значения σ_0 . На тестовых участках содержание влаги в различных типах почв варьировало в пределах от 27 до 81%. По композитам изображений достаточно четко читаются отдельные ландшафтные выдела (рис. 2).

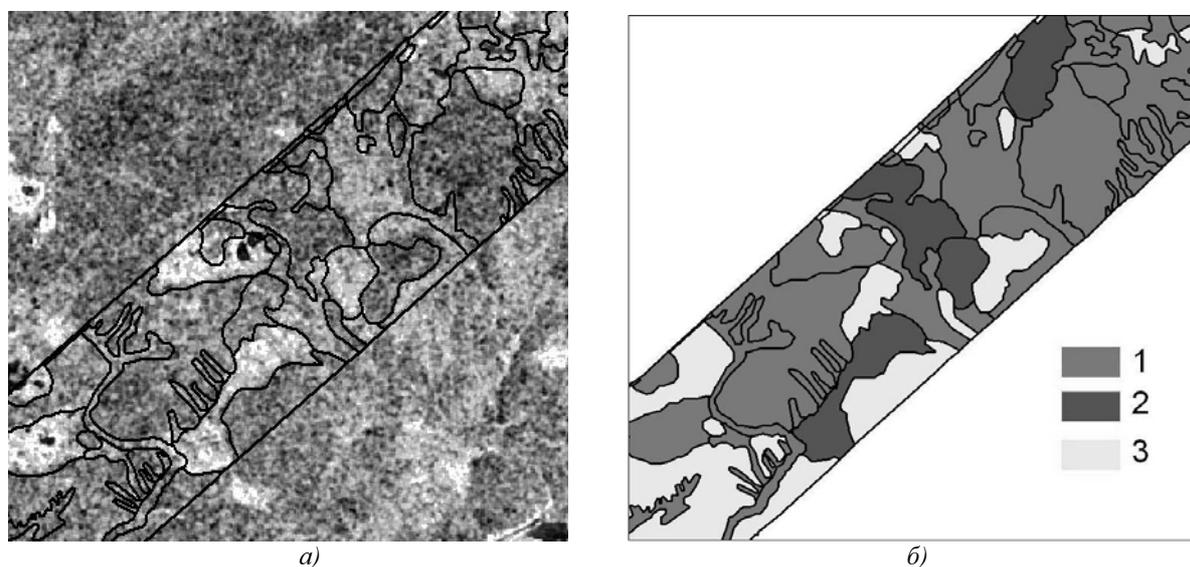


Рис 2. Пример картирования слоя сезонно-талого слоя на территории Воркутинских тундр по материалам ERS-2. В легенде представлены контура, различающиеся глубиной оттаивания: 1 – 100-200 см; 2 – менее 100 см; 3 - более 200 см

Растительный покров. Для классификации растительного покрова по изображениям ERS-2, приуроченным к периоду максимального развития растительности (вторая половина июля) использовали методы управляемой классификации. Полученные материалы были верифицированы по полевым наблюдениям и по сопоставлению с данными, полученными после классификации изображений Landsat. Результаты сравнения (табл. 1) показали значительные расхождения по совпадению контуров большинства выделенных классов (каппа-статистика 32.5%, при общей сходимости результатов дешифрирования 44.3%).

Данные РСА обнаруживают большую избирательность в распознавании градиентов увлажнения (детектировано 82.3% водных поверхностей от данных Landsat), в то время как оптические сенсоры более точно выявляют различия, связанные с вариацией в распределении фитомассы преимущественно сосудистых растений. Наибольшая сходимость классификаций отмечена в отношении багульниково-лишайниково-моховых (порядка 60%) и ерниковых (порядка 55%) тундр. В дальнейшем представляется наиболее целесообразным синергетическое использование материалов радарной и оптической съемки для целей классификации с

Таблица 1. Матрица сходимости выделенных классов по оптическим и радарным данным (км²)*

ERS-2	Landsat-классификация							S, км ²	доля (%)
	1	2	3	4	5	6			
1	3.3	1.3	3.7	0.7	4.7	4.0	18	18.7	
2	0.0	12.5	8.3	3.4	9.5	8.8	43	29.4	
3	0.1	0.8	75.5	17.6	9.1	10.3	113	66.5	
4	0.3	5.6	27.2	11.6	20.5	19.6	85	13.7	
5	0.1	13.7	9.7	3.4	82.9	41.9	152	54.7	
6	0.2	7.9	2.3	0.6	22.8	19.5	53	36.6	
S, км ²	4	42	127	37	149	104	463	-	
доля (%)	82.3	29.9	59.6	31.1	55.4	18.8	-	44.3	

* выделенные классы: 1 – водные поверхности, 2 – еловые редколесья, 3 – багульниковые лишайниково-моховые, 4 – травяно-моховые, 5 – ерниковые, 6 – ивняки

последующей оценкой дешифрирования по материалам Quick Bird.

Оценка количественных изменений величины σ_0 , связанная с сезонной (фенологической) изменчивостью растительных сообществ, была выполнена при анализе изображений (периода 1995-2006 гг.), полученных в наиболее близких условиях съемки (угол съемки, атмосферные условия, влажность субстратов). Для этого была выбрана серия «эталонных» поверхностей, незначительно меняющих свои характеристики в течение сезона. В качестве одной из таких поверхностей выбран участок взлетно-посадочной полосы аэропорта г. Воркута в период ее «сухого» состояния. На основании проведенного отбора выделена группа снимков, включающая шесть изображений, приуроченных к поздневесеннему, летнему и раннеосеннему периоду с наиболее стабильными показателями признака, расположенными в пределах доверительного интервала ($\sigma_0 \pm t_{s_x}$, $n=6$, $p < 0.05$) (рис. 3).

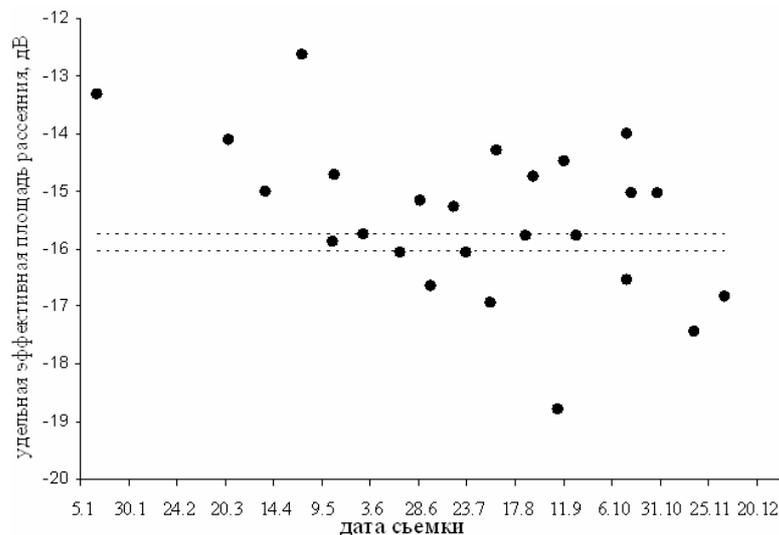


Рис. 3. Отбор изображений по эталонным участкам поверхности. Участок взлетно-посадочной полосы г. Воркута, представлен доверительный интервал значений одной из групп аналогичных изображений. ($n=6$, $P > 0.05$)

Изменения σ_0 , в стабильных по увлажненности условиях были связаны преимущественно с развитием фитомассы сосудистых растений. Динамика хода показателя обнаруживает тесную

корреляцию с изменениями показателя NDVI. Для травянистых ивняков и островных редколесий изменения имели сходный характер, т.к. кустарниковый слой, имеет наибольшее проективное покрытие в обоих сообществах, с доминированием видов ив. Максимальные значения показателя достигали -6.7 и -7.2 dB, соответственно (рис. 4). Однако интервалы изменений значений σ_0 между началом вегетации и максимальным развитием фитомассы обнаруживали различия: 4.5 и 2.1 dB, соответственно. Данные различия связаны с большей неоднородностью («шероховатостью») редколесий с постоянным присутствием разреженного (сомкнутость 0.2-0.3 и менее) древостоя, составленного елью сибирской. Данные особенности могут быть использованы в дальнейшем для совершенствования детектирования тундровых редколесий в качестве дополнительных критериев.

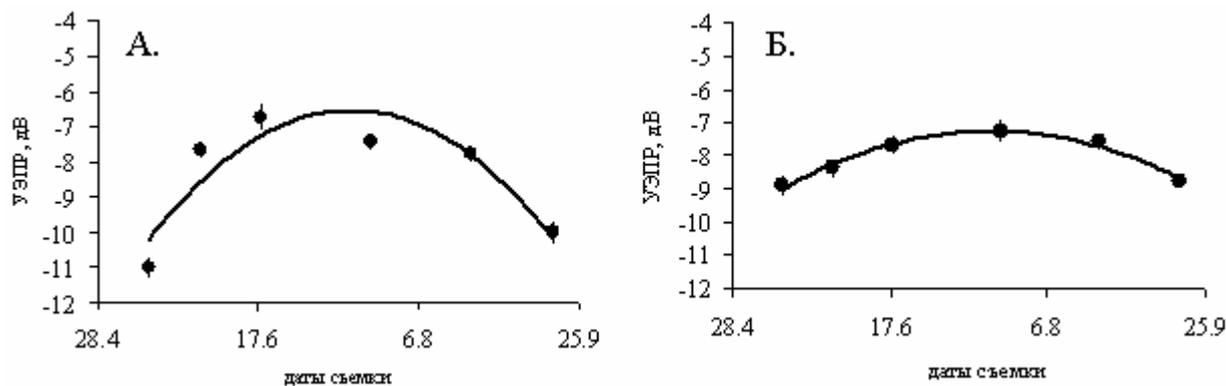


Рис. 4. Динамика величины УЭПР для групп сообществ: ивняков-травяных и островных ельников. Представлены средние значения и размах ошибки средней

Т.о., полученные результаты показали высокие возможности для развития системы спутникового мониторинга и динамического тематического картографирования почвенно-растительного покрова, антропогенных изменений тундровых сообществ с использованием материалов радарной съемки ERS-2.

Литература

1. Wang C., Qi J., Moran S., Marsett R. Soil moisture estimation in a semiarid rangeland using ERS and TM imagery // Remote Sensing of Environment. 90 (2004) Pp. 178-189.
2. Haider S.S., Said S., Kothyari U.C., Arora M.K. Soil moisture estimation using ERS-2 SAR data: a case study in the Solani River catchment // Hydrological Sciences. 49 (2). 2004. Pp.323-334.
3. Бобров П.П., Миронов В.Л., Мандрыгина В.Н., Беляева Т.А., Бобров А.П. Спектроскопические параметры влажных лесотундровых почв в СВЧ – диапазоне // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Сб. научн. статей. Вып. 3., Т. II. Москва: Азбука 2000, 2006. С. 294 – 299.
4. Mironov V.L., Komarov S.A., Kleshchenko V.N. Effect of salinity on the Dielectric Properties of Wet Earth at Positive and Negative Temperature // Earth Obs. Rem. Sens, 1998. vol. 15, Pp.221-231.
5. Wang C., Qi J., Moran S., Marsett R. Soil moisture estimation in a semiared rangeland using ERS-2 and TM imagery // Remote Sensing of Environment. 2004, №90. Pp.178-189.
6. Миронов В.Л., Комаров С.А., Музалевский К.В. Моделирование подповерхностного радарного зондирования активного слоя вечной мерзлоты // Третья всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Сб. тез. Москва, ИКИ РАН, 14-17 ноября 2005 г.
7. Shoshany M., Kutiel P., Lavee H. ERS-2 SAR Moisture and Herbaceous Biomass Monitoring across a semi-arid transect in Israel // Retrieval of Bio- and Geo-Physical Parameters from SAR Data for Land Applications. Workshop. ESTEC, 21-23 October 1998. Pp.34-39.

8. *Stenberg M., Shoshany M.* Aboveground biomass allocation and water content relationships in Mediterranean trees and shrubs in two climatological regions in Israel // *Plant Ecology*. № 157. 2001. Pp.171-179.
9. *Solbo S., Johansen B., Malnes E., Solheim I.* Enhancing Land Cover Maps Derived from Landsat TM with Multi-Temporal SAR Data. *Proceedings IGARSS 2005*. Soul. South Korea. 4 pp.
10. Климатологический справочник по СССР. Вып. I. Европейская часть СССР. Л.: Главная геофизическая обсерватория, 1932. 118 с.
11. *Аковецкий В.И.* Дешифрирование снимков. М.: Недра, 1983. С.205-237.
12. *Elsakov V.V.* The possibilities of remote sensing monitoring of Jun`Jaga coal open pit effects to tundra environment (Vorcuta region) // *Proceedings of 31-st International Symposium on Remote Sensing of Enviroment «Global Monitoring for Sustainability and Security»*. Saint-Petersburg, 2005. Pp.51-52.