

Спутниковые методы исследований в мониторинге и картировании пастбищных угодий северного оленя

В.В. Елсаков, В.М. Щанов, Н.В. Беляева

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

В работе представлены результаты, демонстрирующие возможности использования материалов спутниковых съемок и GPS позиционирования животных применительно мониторинга пастбищных угодий и путей миграции северного оленя на Европейском Севере России, оценке основных трендов изменений растительного покрова пастбищ в условиях климатических трансформаций последних лет. Апробированы методы проведения геоботанической инвентаризации и оценки нарушенности пастбищ хозяйственной деятельностью, связанной с добычей углеводородного сырья.

Ключевые слова: пастбищные угодья северного оленя, дистанционный мониторинг.

Введение

Крупностадное оленеводство – форма традиционного природопользования, сложившаяся на территории Республики Коми и Ненецкого автономного округа, на рубеже XVII–XVIII вв. На пастбища северного оленя (*Rangifer tarandus tarandus*) приходится порядка 22.8% земельного фонда республики (9483.8 тыс. га), в них включены растительные сообщества северной тайги, лесотундровой и тундровой зон. На территории РК выпас оленевых стад проводят 5 организаций, зарегистрированных в Коми (общая численность животных – порядка 83.5 тыс. голов), 7 с/х предприятий Ненецкого автономного округа (74.3 тыс. животных), 4 – Ямало-Ненецкого и 1 – Ханты-Мансийского автономных округов, небольшие фермерские хозяйства и частные лица.

Планомерные работы по изучению и рациональному использованию оленевых пастбищ европейского северо-востока России были начаты в 1930-е годы и связаны с именами В.Н.Андреева, А.А.Дедова, Ф.М.Самбука, А.П.Шенникова, давших детальную геоботаническую оценку распределения, состава и запасов растительной массы сосудистых и споровых растений в ряде районов РК и НАО. Расположение участков и сроки выпаса, пути движений стад (*вёрги, коми*), численность животных, исторически и юридически закреплены за хозяйствами проектами (внутрихозяйственного землеустройства пастбищных угодий) обустройства пастбищных угодий. В (настоящее) современное время выполнение исследований пастбищ остается актуальным в свете глобальных климатических изменений, антропогенной трансформации экосистем, связанной с широкомасштабным влиянием нефтяной и газовой промышленности, добычей минерального сырья и угля Печорского угольного бассейна, развитием сети трубопроводного транспорта, дорожным строительством.

Цель настоящей работы состояла в анализе возможностей использования материалов спутникового мониторинга применительно развития технологий инвентаризации, геоботанического картирования и исследования сезонных и межгодовых изменений количественных характеристик растительного покрова на пастбищах северного оленя.

Материалы и методы

Для выявления особенностей распределения отдельных классов растительного покрова в составе пастбищных угодий северного оленя восточной и западной части района Большеземельской тундры выполнены поэтапные управляемые классификации разновременных изображений Landsat с подготовкой тематических геоботанических карт М 1 : 100 000. Полученные материалы прошли полевую верификацию в ходе полевых исследований и аэровизуальных облетов территории.

Для выявления участков, подверженных влиянию объектов промышленности и этапов их строительства достаточно удобным для использования был показатель индекса нарушенности (*Disturbance Index, DI*) (Healey et.al., 2005) рассчитанный как:

$$DI = Br - (Gr + Wr), \quad (1)$$

где Br, Gr, Wr – масштабированные значения величин Brightness, Greenness и Wetness, полученные в результате преобразований:

$$\begin{aligned} Br &= (B - B_m) / B\sigma \\ Gr &= (G - G_m) / G\sigma \\ Wr &= (W - W_m) / W\sigma, \end{aligned} \quad (2)$$

где B, G, W – значения пикселов; B_m, G_m, W_m – средние значения величин и B_σ, G_σ, W_σ – их стандартные отклонения. Значения B, G, W получены для изображений в результате стандартных процедур преобразования Tasseled Cap для сенсоров TM и ETM+ (King et.al., 2001; Huang et.al., 2001). Полученные материалы стали основой для выполнения инвентаризационных работ по обновлению проектов внутрихозяйственного землеустройства пастбищного устройства и расчетов убытков оленеводческих хозяйств, связанных с работой предприятий нефтедобычи согласно методике исчисления размера убытков, причиненных объединениям коренных народов РФ (приказ 565 от 9.12.09) утвержденной Министерством регионального развития РФ.

Использование подобранных серий разновременных изображений Landsat 30-м разрешения не позволило установить устойчивых межгодовых изменений характеристик растительного покрова. В большинстве случаев причиной вариабельности показателей были погодные флюктуации, различия в фенологическом развитии растений для разных лет. Поэтому, с целью выявления устойчивых трендов изменений естественных сообществ, наблюдавшихся в течение последних десятилетий на территории Югорского п-ва, были составлены временные композиты нормализованного разностного индекса растительного покрова (*NDVI*), спутника среднего разрешения Terra-MODIS с пространственным разрешением 0.25 км, периодом наблюдений 2000-2010 гг. и доступностью съемки два раза в день. Для каждого года изображения выбирались максимальные значения (величины достигали максимума в конце июля). На основании полученных величин для каждого элемента изображения рассчитывали тренды изменений индекса NDVI за 10-летний период наблюдений и выявляли общий тренд изменений данного показателя.

Параллельно выполненным работам в период с 26.02.09 по 26.12.09 и 11.2.2010 по 28.12.2010 гг. на модельных животных наиболее крупного оленеводческого хозяйства Европейского Севера – СПК колхоз «Ижемский Оленевод и Ко», были установлены ошейники, оснащенные GPS приемником (GPS PLUS, Vectronic Aerospace, Германия). Несмотря на

то, что использование GPS ошейников в исследованиях выполнялись на пастбищных угодьях Финляндии (Kumpula et. all., 2007), продолжительные сезонно-циклические широтные миграции животных в пределах территории Европейского Севера ранее не рассматривались. Ошейник фиксировал географические координаты участка, в котором находится модельное животное, температурные условия и высоту участка. Полученные материалы были интегрированы в отдельные тематические картографические слои по пастбищному использованию земель в районе выполнения работ для (далнейшего) после использования хозяйствами.

Результаты и обсуждение

Выполнение геоботанического картирования для землеустроительных целей.

Основными данными, обосновывающими организацию хозяйственной активности оленеводческих хозяйств, являются тематические геоботанические и ландшафтные карты. Несмотря на то, что понятия «геоботанический выдел» принятые в землеустройстве и «фито-ценоз» как единица растительного покрова в традиционных геоботанических исследованиях в общем совпадают¹, выделение единиц на картографической основе носит разный характер (рис.1). Развитие ландшафтных подходов применительно исследования вопросов пространственных закономерностей смен растительных сообществ показало, что «вопрос о континуумах систем биологических и географических может решаться только с учетом ряда их признаков. Непрерывность флористического состава не всегда является единственным показателем для суждения о континууме (Сочава, 1967, с. 146)». Поэтому, в качестве одного из таких признаков при выполнении картирования могут выступать яркостные характеристики отдельных каналов.

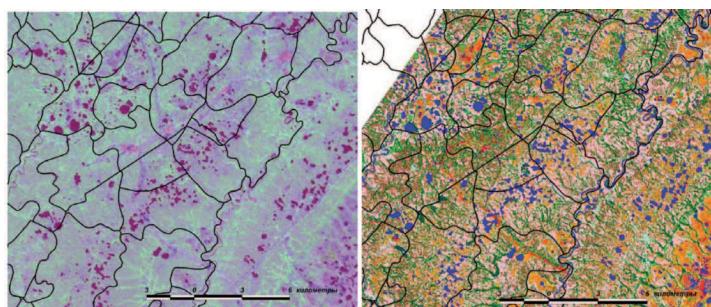


Рис. 1. Пример соотношения геоботанических выделов по данным проекта пастбищного устройства одного из хозяйств спроектированных на снимок Landsat и подготовленную геоботаническую карту (M 1 : 100 000)

Привлечение классификаций растительного покрова по материалам спутниковых изображений, представленных в виде тематических карт, значительно облегчило выделение единиц пастбищного учета, позволило провести учет «представленности» (показателей, демонстрирующих уровень γ - и β -разнообразия) и соотношения геоботанических классов в контуре и перейти к вопросу учета показателей оленеемкости контуров. В качестве дополнительных данных при учете оленеемкости контура привлекались материалы, полученные после выполнения SMA-анализа с характеристикой компонентов «зеленых» и «лишайниковых» кормов (рис.2).

¹ В первом случае в качестве единицы растительного покрова рассматривается «участок территории, однородный по составу растительности, экологическим условиям и хозяйственному состоянию» (Временное положение..., 2009), во втором – «условно ограниченный и однородный контур растительности, часть фитоценотического континуума» (Миркин и др., 1989, по: Матвеева, 1998, с.63).

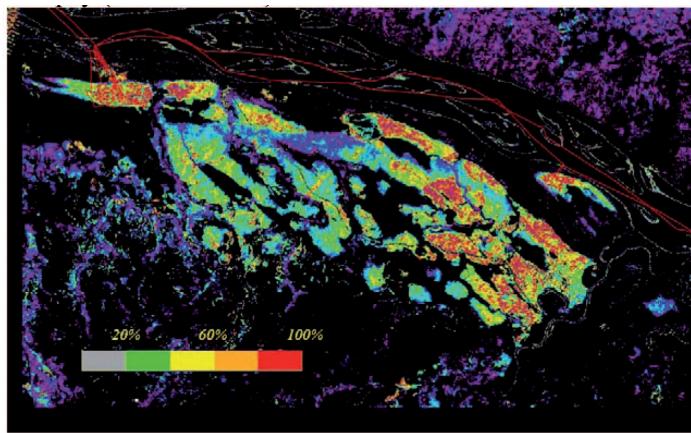


Рис.2. Представленность «лишайниковой компоненты» (запас лишайниковых кормов) после выполнения SMA-анализа спутникового изображения и маршрут движения модельного животного с использованием GPS-ошейника

Расчет ущерба. Анализ материалов спутниковой съемки высокого разрешения за периоды разных лет позволил установить особенности деградации пастбищных угодий под влиянием промышленного освоения и отклонения в реализации проекта освоения месторождения, а сочетание полученных материалов с GPS-позиционированием контуров нарушенных участков выявил их точные площадные характеристики. Полученные материалы обустройства пастбищных угодий стали основой для расчета ущерба пастбищным угодьям согласно «Методическим 2004» и «Методическим..., 2007» утвержденным Министерством регионального развития РФ. Анализ полученных стоимостных материалов показывает, что основное возмещение ущерба (до 99.5%) предприятиям-природопользователям приходится на компенсацию «стрессового фактора» на прилегающих к занятым под промышленные объекты землях. Менее 0.5% стоимости затрагивает компенсацию за земли, непосредственно вовлеченные в промышленное использование.

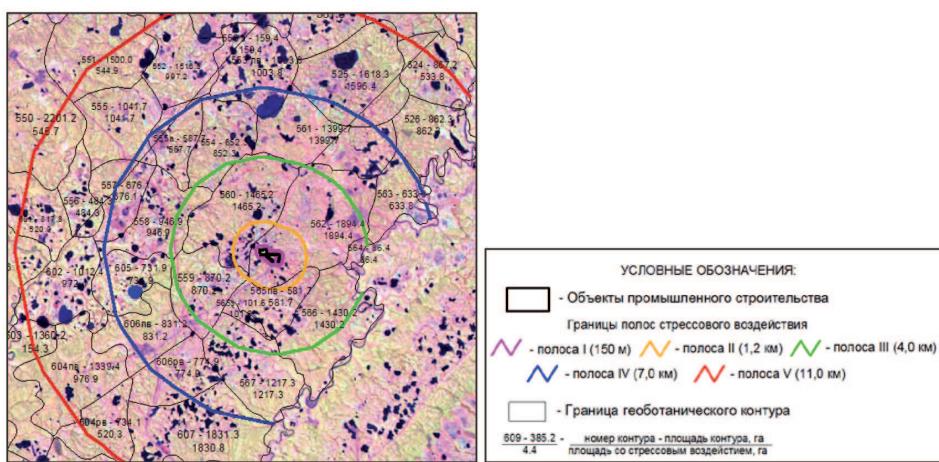


Рис. 3. Схема стрессового воздействия объекта добычи нефти для оценки степени его воз-действия на прилегающие пастбищные участки с использованием материалов ДДЗ

Подтверждение влияния стрессового воздействия в буферных зонах вокруг площадок буровых получено при использовании GPS-ошейников, установленных на модельных животных. Общий объем принятых GPS-ошейником и записанных координат с интервалом в 30 мин составил в среднем 14.5 тыс записей/год, из них, 99.9% имели статус 3D (координаты полу-

чены как минимум по четырем спутникам и представляют собой точное определение), 12 записей статуса 2D (координаты получены по трем спутникам, данные по высоте использованы по предыдущей записи), и в 7 измерениях значения не зафиксированы. Среднее время одного цикла навигации составило 30 сек, минимальное 2 сек, максимальное 3 мин. Общая протяженность маршрута за период работы в среднем 3.4 тыс км (в среднем около 11.2 км/день). Максимальные перемещения за день (для периода перегона) 75 км. Совмещение собранных координат с данными спутниковой съемки позволило наблюдать особенности дневной, суточной и сезонной двигательной активности (интенсивность передвижения) оленей на выпасе, были установлены доминирующие ландшафты и растительные сообщества, которые «выбираются» оленями при относительно свободном выпасе в пределах разных типов пастбищ, зафиксированные координаты подтвердили «посещаемость» площадок буровых.

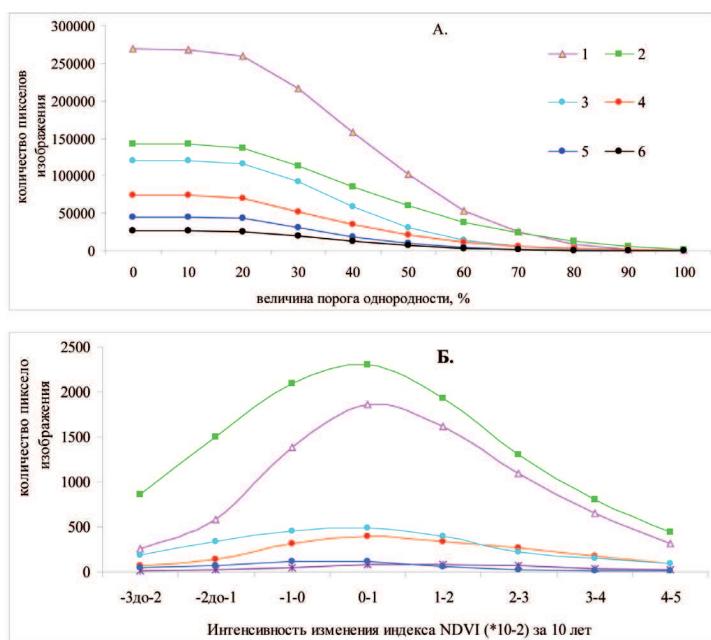


Рис. 4. Особенности распределения пикселов однородных по составу геоботанических классов (А) и интенсивности изменения индекса NDVI для доминирующих растительных сообществ пикселов с порогом 80% (Б). Цифрами обозначены классы растительности: 1 – разнотравно моховый ивняк; 2 – осоково-моховые болота; 3 – ерник травяно-моховый; 4 – сфагновые болота; 5 – кустарничково-мохово-лишайниковая тундра; 6 – пятнистая кустарничково-мохово-лишайниковая тундра

Климатогенные изменения пастбищных угодий. Анализ многолетнего хода максимальных за год величин индекса NDVI, рассчитанного по данным съемки Terra-MODIS с пространственным разрешением 0.25 км, для периода наблюдений 2000-2010 гг., позволило установить участки пастбищ, наиболее существенно изменяющие свои характеристики под влиянием естественных погодных и климатических влияний для периода последних десятилетий. Использование спектрозональных спутниковых данных применительно оценки запасов фитомассы основано на положении о взаимосвязи поглощаемого/отражаемого растительными объектами излучения и запасом (продукцией) фитомассы. Формирование значений отражения для конкретных пикселей изображения (30x30 м) определяется вкладом в суммарный спектр различных объектов, для фитоценозов, прежде всего, растений различных жизненных форм, однако в большей степени значения спектральных величин отдельных участков определяются величинами хлорофильного индекса (ХИ). Для тундровых сообществ проективное

содержание хлорофилла в среднем составляет около 0.35 г/м² (Воронин, 2006), при этом, наблюдается снижение величины ХИ в направлении: злаковые (1.18 г/м²) → кустарниковые (0.75-0.90 г/м²) → воронично-ерниковые (0.58 г/м²) → кустарничково-моховые (0.36 г/м²) сообщества (Шмакова, Кудрявцева, 2002). Также отметим, что содержание хлорофилла на единицу площади для целых сообществ варьирует в меньшей степени, чем в отдельных растениях и их частях (Одум, 1986), в то же время нивелирование вариабельности значений происходит и вследствие пространственной генерализации изображения.

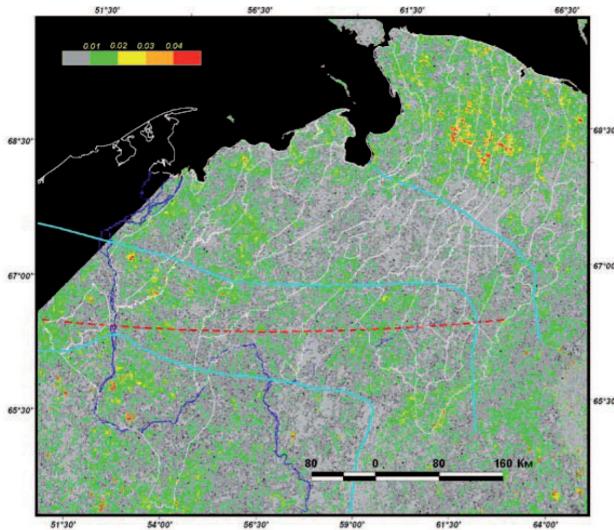


Рис. 5. Изменение индекса NDVI макс за 10 летний период (2000-2009 гг). Обозначены границы распространения сплошных, массивно-островных и прерывистых многолетне мерзлых пород

С целью выявления причин вариабельности классов растительности изображение Landsat было доведено до разрешения съемки Terra-MODIS с выделением пикселов однородных по составу геоботанических классов (рис. 4.А). Количество однородных по составу пикселов с ростом степени однородности снижалось. Так для 50%-го критерия однородности представленного класса количество пикселов изображения снизилось до 30% от всех пикселов. Полностью однородные по составу пиксели (пиксель представлен полностью одним классом растительности) составили 0.2%. В качестве критерия однородности был рассмотрен порог 80% (3.6% пикселов). Кривая распределения изменения индекса NDVI для выделенных пикселов большинства классов имеет слабую положительную правостороннюю асимметрию, однако в целом может рассматриваться как имеющая нормальное распределение (рис.4Б), что демонстрирует отсутствие облигатных классов растительности, реагирующих на климатические изменения. Выделение участков наиболее изменившихся классов показало, что они локализованы преимущественно на ландшафтно- и геоморфологически однородных участках в районах сплошного распространения многолетнемерзлых пород (рис.5). Сопоставление полученных результатов с ранее выполненными наблюдениями за изменениями криогенных ландшафтов территории (Елсаков, Марущак, 2011) позволяют связать рост продуктивности с увеличением глубины протаивания сезонноталого слоя, ростом температуры верхней кровли многолетнемерзлых пород, отмечаемым в последние десятилетия (Природная..., 2005). Что демонстрирует необходимость пересмотра существующих проектов пастбищного устройства для хозяйств, расположенных в данных районах.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ «Влияние климатических изменений на биоценозы ненарушенных территорий российского Севера» (проект № 10-04-92514-ИК_a).

Литература

1. Воронин П.Ю. Хлорофильный индекс и фотосинтетический сток углерода Северной Евразии // Физиология растений, 2006. Т.53. №5. С.777-785.
2. Временное положение по расчету размера убытков, причиненных сельскохозяйственным предприятиям Республики Коми, занимающимся разведением оленей, в результате нанесения ущерба территории традиционной хозяйственной деятельности деятельностью организаций всех форм собственности и физическими лицами. ОАО «Мурманское землеустроительное предприятие, 2009. 9с.
3. Елсаков В.В., Маруцак И.О. Межгодовые изменения термокарстовых озер Северо-Востока Европейской России // Исследования Земли из космоса. № 3. 2011. (В печати).
4. Матвеева Н.В. Зональность в растительном покрове Арктики. С-Пб, 1998.- 220 с.
5. Методические рекомендации по оценке качества земель, являющихся исконной средой обитания коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока РФ», утвержденные Росземкастстром 02.03.2004 г.
6. Методические рекомендации по расчету размера убытков, причиненных коренным малочисленным народам Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации в результате нанесения ущерба их исконной среде обитания хозяйственной деятельностью организаций всех форм собственности и физическими лицами», одобренных ГНУ ВНИЭТУСХ, Москва, 2007 г.
7. Одум Ю.П. Экология. М., 1986. Т. 1-2.
8. Природная среда в условиях открытой разработки угля (на примере Юньягинского месторождения) / под общей редакцией М.В. Гецен. Сыктывкар, 2005. 246 с.
9. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Наука: Новосибирск, 1978. 318с.
10. Шмакова Н.Ю., Кудрявцева О.В. Запас и структура фитомассы растительных сообществ горной тундры Хибин // Ботан. журн. 2002. Т.87. №6. С. 84-91.
11. Healey S.P. Comparison of Tasseled Capbased Landsat data structures for use in forest disturbance detection / S.P. Healey, W.B. Cohen, Y. Zhiqiang, O.N. Krankina // Remote Sensing of Environment. V. 97, 2005. – P. 301-310.
12. Huang Ch. Derivation of a Tasseled Cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance / Ch. Huang, B. Wylie, L. Yang, C. Homer, G. Zylstra. – Raytheon ITSS, USGS EROS Data Center Sioux Falls, SD 57198, USA, 2001. 10 p.
13. King, R. Tasseled Cap transformation Mississippi coastal corridor July 24, 2000 / R. King, Ch. O’Hara, L. Wang. – CGTS, Mississippi State University, 2001.
14. Kumpula J., Colpaert A. 2007 Snow conditions and usability value of pastureland for semidomesticated reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*) in northern boreal forest area. *Rangifer* 27, 25–39.

The satellite data for inventory and monitoring of reindeer pastures at euopen russia

V.V. Elsakov, V.M. Schanov, N.V. Beljaeva

Institute of Biology Komi SC UrD RAS
167610 Syktyvkar, Kommunisticheskaja, 28
E-mail: elsakov@ib.komisc.ru

The results of reindeer pasture inventory and monitoring with remote sensing data and GPS-collars technology are presenting for European Russia area. The main trend of natural changes of pasture vegetation cover was related with climate effect in permafrost zone. The satellite data can be widely attract for monitoring and controlling of anthropogenic effect related with gas and oil extraction industry.

Keywords: reindeer pastures inventory, remote sensing, climate changes.