

Технологии дистанционного зондирования в исследовании свойств растительных сообществ бассейна р. Новая Нерута

В.В. Елсаков, С.Н. Плюсин, В.М. Щанов

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

В работе представлены результаты исследований тундровых фитоценозов бассейна р Новая Нерута (Ненецкий автономный округ, Государственный заповедник «Ненецкий»). Использование технологий дистанционного зондирования позволило оценить особенности пространственного распределения доминирующих растительных сообществ, изменение их количественных характеристик в течении вегетационного сезона (индексы NDVI, LWCI), динамику экологических параметров (температура подстилающей поверхности °C). Комбинированное использование индексов NDVI и LWCI позволило распределить исследованные сообщества в группы, определяющиеся условиями увлажнения и запасом биомассы, что в дальнейшем может быть использовано для составления рядов сукцессионных смен.

Введение

Территории бассейнов рек Новая Нерута и Ячей, расположенные на северо-западе Большеземельской тундры, слабо затронуты хозяйственной деятельностью и относятся к государственному заповеднику «Ненецкий» (Ненецкий автономный округ). Южно-тундровые ландшафты района представлены аллювиальными аккумулятивными плоскими заболоченными равнинами с многочисленными термокарстовыми и старичными озерами [1]. Растительные ресурсы водораздельных пространств используются под пастбищные угодья оленеводческим хозяйством «Харп». Большая часть территории имеет избыточное увлажнение, за исключением юго-востока срединной части дельты, где выделяется крупный тундровый останец – ур. Мыс Мадаганырд.

Цель настоящей работы состояла в оценке возможностей использования технологий дистанционного зондирования применительно изучения вариабельности хронологических и хронологических экологических параметров растительных сообществ района.

Материалы и методы

Данные дистанционного зондирования Landsat TM (05.07.1996, 08.08.1988, 09.09.1985) были использованы для выявления особенностей пространственной приуроченности растительных сообществ, наблюдениями за изменениями площадей растительных контуров. Вычисления значений температуры поверхности (°C) проведено по значениям яркостных характеристик шестого канала в соответствии с общепринятой методикой [2], расчет нормализованного вегетационного индекса (NDVI) и индекса содержания влаги в листьях (LWCI) проведено по формулам:

$$NDVI = \frac{[NIR] - [R]}{[NIR] + [R]} \quad (1),$$

$$LWCI = -\ln\left(1 - \frac{[NIR] - [MIR_1]}{255}\right) \quad (2),$$

где NIR – значение отражения в ближней инфракрасной области спектра, R - в красной области, MIR₁ – средней инфракрасной области спектра. Полевые геоботанические и флористические исследования проведены в середине июля 2002 г.

Результаты

Разнообразие растительного покрова территории исследований определяется неоднородностью ландшафтов и форм представленного микрорельефа (табл.1). Из зональных типов растительных сообществ отмечены кустарниковые (ивняковые и ерниковые), кустарничковые и лишайниковые тундры, травяно-моховые и луговинные тундры. Интразональные сообщества представлены ивняками, плоскобугристыми болотами, лугами и обводненными травянистыми зарослями. Наибольшую площадь на представленной территории имели травяно-моховые тундры (24.9%), ивняки (16.7%) и луговые сообщества (16.5%). В меньшей степени на территории представлены кустарниковые (10.3%) и кустарничковые тундры (5.6%). Около трети территории представлено водными, прибрежно-водными и болотными сообществами: водоемы (9.5%), болота (11.3%). Из представленных на территории девяти групп растительных сообществ на классифицированных изображениях Landsat 7 ETM+ выделены шесть классов земной поверхности, соответствующие положению в элементарных ландшафтах: водные поверхности, заболоченные участки (верховые и грядово-мочажинные болотные комплексы), травяно-моховые тундры, пойменные и нивальные луга, ивняки, кустарниково-моховые и кустарничково-лишайниковые тундры. Несмотря на то, что между временем съемки отмечены незначительные межгодовые температурные вариации (рис.1), значительные интервалы между датами съемки (5 июля, 8 августа, 9 сентября) позволяют рассматривать их для оценки разносезонных зависимостей. Для выделенных классов отмечены различия температурного режима подстилающей поверхности в начале, середине и конце вегетационного периода (табл.2). Наибольшие средние значения температур отмечены на водораздельных участках, верхних, частях склонов, с кустарничково-лишайниковыми и кустарниково-моховыми тундрами. Среди растительных сообществ наименьшие значения показателя отмечены в пределах болотных массивов.

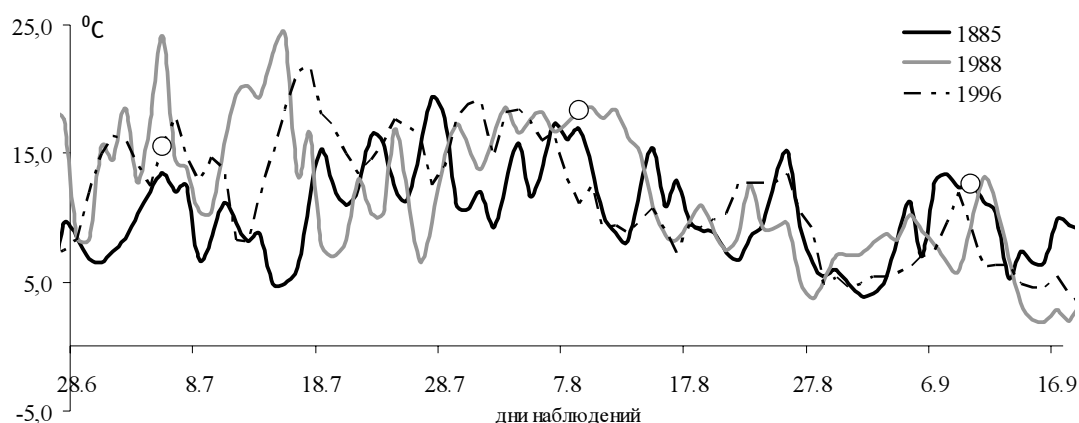


Рис. 1. Динамика среднесуточной температуры в районе исследований по данным м.ст. Нарьян-Мар с 28.6 по 17.9 (по: www.meteo.ru). Точками обозначены дни съемки

Таблица 2. Средние значения температуры подстилающей поверхности (°C) для выделенных классов земной поверхности по данным шестого канала Landsat TM

| Классы поверхности: | Дата съемки | | |
|--------------------------------------|-------------|------------|------------|
| | 05.07.1996 | 08.08.1988 | 09.09.1985 |
| 1. Водные поверхности | 11.2 | 13.8 | 5.8 |
| 2. Заболоченные участки | 12.4 | 15.8 | 6.8 |
| 3. Травяно-моховые тундры | 12.7 | 16.1 | 7.2 |
| 4. Пойменные и нивальные луга | 14.8 | 18.9 | 8.1 |
| 5. Ивняки моховые | 13.4 | 15.8 | 7.3 |
| 6. Кустарниково-моховые тундры | 15.7 | 20.1 | 8.5 |
| 7. Кустарничково-лишайниковые тундры | 16.3 | 20.8 | 8.6 |

Таблица 1. Характеристика доминирующих растительных сообществ бассейна р. Новая Нерута

| Типы сообществ | Приуроченность | Сосудистые растения | | Лишайники | | Характерные представители мхов |
|-----------------------|--|---------------------|--|-------------|--|---|
| | | Число видов | Характерные представители | Число видов | Характерные представители | |
| Ерниковые тундры | Пологие склоны | 13 | <i>V.nana</i> , часто в смеси с <i>Salix glauca</i> , <i>S. phylicifolia</i> . Большое обилие кустарничков (багульник, брусника, голубика, водяника), чем травянистых (морозка, дерен шведский, осоки, злаки). | 19 | Обычны рода <i>Peltigera</i> , <i>Nephroma</i> , эпифиты сем. <i>Parmeliaceae</i> . На сухих участках <i>Cladonia arbuscula</i> , <i>C. rangiferina</i> , <i>Cetraria islandica</i> , <i>Stereocaulon paschale</i> | Представители р. <i>Hylocomium</i> , <i>Pleurozium</i> , <i>Drepanocladus</i> |
| Ивняковые тундры | Пологие склоны, плоские участки | 53 | Кустарниковый ярус: <i>Salix glauca</i> , <i>S. lanata</i> , <i>S. phylicifolia</i> , <i>S. lapponum</i> , <i>S. hastata</i> , с примесью <i>V.nana</i> . Травянистый ярус: морозка, злаки р. <i>Calamagrostis</i> , <i>Festuca</i> и <i>Poa</i> , <i>Carex arctisibirica</i> , виды р. <i>Pedicularis</i> . | 26 | Часто пельтигеры (<i>Peltigera aphthosa</i> , <i>P. leucophlebia</i> , <i>P. polydactylon</i> , <i>P. praetextata</i>), нефромы (<i>Nephroma arcticum</i> , <i>N. bellum</i> , <i>N. expallidum</i>), лобария <i>Lobaria linita</i> , эпифитные лишайники сем. пармелиевых (<i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Parmelia sulcata</i> , <i>Parmeliopsis ambigua</i> , <i>P. hyperopta</i>) | Доминируют зеленые мхи – <i>Pleurozium schreberi</i> , <i>Hylocomium splendens</i> , <i>Drepanocladus sp.</i> |
| Кустарничковые тундры | Возвышенности | 16 | Обильны <i>Empetrum hermaphroditum</i> , <i>Arctous alpina</i> , <i>Vaccinium uliginosum</i> , <i>V. vitis-idaea</i> , <i>Loiseleuria procumbens</i> , <i>Ledum decumbens</i> . | 33 | Представители р. <i>Cladonia</i> (<i>C. amaurocraea</i> , <i>C. arbuscula</i> , <i>C. gracilis</i> , <i>C. rangiferina</i> , <i>C. stygia</i> , <i>C. uncialis</i>), цетрарии (<i>Cetraria islandica</i> , <i>Flavocetraria nivalis</i> , <i>F. cucullata</i>) и сем. пармелиевых (<i>Alectoria ochroleuca</i> , <i>A. nigricans</i> , <i>Bryocaulon divergens</i> , <i>Bryoria nitidula</i>). | Часть виды р. <i>Dicranum</i> и <i>Polytrichum</i> , <i>Aulacomnium turgidum</i> . |
| Лишайниковые тундры | | 11 | | 25 | | |
| Моховые тундры | Понижения, нивальные экотопы | 27 | Наиболее постоянны осоки и пушицы, морозка и эрикоидные кустарнички | 22 | Лишайники не играют значительной роли (<i>Cladonia estocyna</i> , <i>C. macroceras</i> , <i>C. stygia</i> , <i>Arctocetraria andrejevii</i> , <i>Cetraria islandica</i> , <i>Cetrariella delisei</i> , <i>Stereocaulon alpinum</i> , <i>S. rivulorum</i>). | доминируют: <i>Dicranum</i> , <i>Polytrichum</i> , <i>Hylocomium splendens</i> , <i>Pleurozium schreberi</i> |
| Ивняки | Берега рек и ручьев, ложбины стока | 55 | В кустарниковом ярусе <i>S. viminalis</i> , <i>S. glauca</i> , <i>S. phylicifolia</i> . Среди трав обычны виды разнотравья - <i>Filipendula ulmaria</i> , <i>Rubus arcticus</i> , <i>Ranunculus repens</i> , <i>Pedicularis lapponica</i> и <i>P. palustris</i> , <i>Veronica longifolia</i> , <i>Myosotis palustri</i> , <i>Viccia cracca</i> и <i>V. sepium</i> и: <i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Calamagrostis neglecta</i> , <i>Festuca rubra</i> , <i>Poa pratensis</i> | 3 | эпифитные лишайник: <i>Melanelia olivacea</i> , <i>M. septentrionalis</i> , <i>Parmelia sulcata</i> , <i>Parmeliopsis ambigua</i> , <i>P. hyperopta</i> , <i>Physcia aipolia</i> | мхи родов <i>Campylium</i> , <i>Drepanocladus</i> , <i>Mnium</i> , <i>Pseudobryum</i> |
| Верховые болота | Бугристые и грядово-мочажинные комплексы | 18 | Осоки, пушицы, водяника, морозка, подбел, голубика, брусника, клюква | 17 | <i>Cladonia</i> , <i>Cetraria</i> s.lat. на буграх | <i>Dicranum</i> , <i>Sphagnum</i> |
| Низинные болота | Зарастающие водоемы, депрессии | 27 | Осоки, пушица, злаки, сабельник, калужница | 3 | | <i>Campylium</i> , <i>Drepanocladus</i> , <i>Sphagnum</i> , <i>Hypnum</i> |
| Луга | Пойменные участки | 37 | Злаки, сложноцветные, лотиковые, крестоцветные, астрагалы | - | - | - |

Участки растительного покрова различались и средними значениями индексов *LWCI* и *NDVI* (табл.3). Наибольшие значения индекса *LWCI*, связанного с содержанием влаги [3, 4, 5], в целом отмечены для сообществ с гигрофильной растительностью в начале вегетационного периода - болот, лугов, травяно-моховых тундр и ивняков. Доминирование мезофильной растительности (к примеру, в кустарниковых тундрах) приводит к росту значения показателя. Наиболее низкие значения признака отмечены в сообществах кустарничковых и лишайниковых тундр.

Таблица 3. Средние значения рассчитанных индексов *NDVI* и *LWCI* для классов подстилающей поверхности по данным Landsat TM

| Классы * | <i>NDVI</i> | | | <i>LWCI</i> | | |
|-------------|-------------|------------|------------|-------------|------------|------------|
| | 05.07.1996 | 08.08.1988 | 09.09.1985 | 05.07.1996 | 08.08.1988 | 09.09.1985 |
| 1 | -0.23 | -0.14 | -0.07 | -0.015 | 0.041 | 0.002 |
| 2 | 0.06 | 0.12 | 0.13 | -0.065 | 0.014 | -0.007 |
| 3 | 0.18 | 0.25 | 0.20 | -0.089 | -0.010 | -0.006 |
| 4 | 0.31 | 0.27 | 0.21 | -0.083 | -0.031 | -0.022 |
| 5 | 0.26 | 0.34 | 0.25 | -0.063 | 0.024 | 0.005 |
| 6 | 0.37 | 0.25 | 0.22 | -0.046 | -0.080 | -0.027 |
| 7 | 0.31 | 0.16 | 0.18 | -0.037 | -0.129 | -0.040 |

- названия классов соответствуют таковым, представленным в табл.2.

Значения *NDVI* варьировали в пределах отдельных фитоценозов неоднозначно, что с одной стороны определялось доминированием в них растений различных жизненных форм (сосудистых, мхов, лишайников), с другой – накоплением в течение вегетационного периода запаса биомассы доминирующими в кустарниковом ярусе сосудистыми растениями (*B.nana*, *Salix* sp.). Наибольшими значениями *NDVI* среди тундровых фитоценозов в период максимального развития растительности характеризуются ивняки (0.30-0.50), несколько меньшие значения индекса соответствуют кустарниковым и луговинным тундрам и крупнотравным лугам (0.20-0.35), у мелкотравных лугов и травяно-моховых тундр значения показателя лежат в диапазоне от 0.10 до 0.25. Наименьшей надземной фитомассой и значениями *NDVI* (от 0 до 0.20) характеризуются болотные сообщества и кустарничково-лишайниковые тундры.

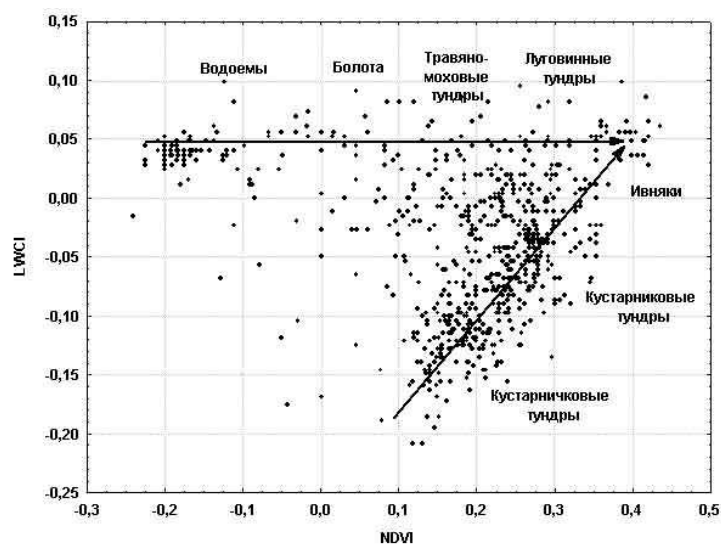


Рис. 2. Распределение классов земной поверхности в пространстве значений индексов *NDVI* и *LWCI*. Данные Landsat TM (08.08.1988)

Комбинированное использование индексов *NDVI* и *LWCI* позволяет распределить исследованные сообщества в группы, определяющиеся условиями увлажнения и запасом биомассы (Рис.2). Первый ряд соответствует более сухим местообитаниям, приуроченным к возвышенностям (кустарничковые тундры, кустарниковые тундры, ивняки). Кустарниковые тундры и ивняки представляют собой климаксовые сообщества в подзоне южных тундр, где расположен обследованный район. Второй ряд сообществ приурочен к влажным местообитаниям, занимающим понижения в рельефе (прибрежно-водная растительность, болотные массивы, травяно-моховые тундры, луговинные тундры).

Литература

1. Легенда к ландшафтной карте СССР. 1987. М. 339 с.
2. *Chander G., Markham B.* 2003. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges // *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*. Vol. 41, No. 11. Pp. 2674-2677.
3. *Hunt E.R., Barrett N.R., Nobel P.S.* 1987. Measurement of Leaf Relative Water Content by Infrared Reflectance // *Remote Sens. of Environ.* № 22. Pp.429-435.
4. *Hunt E.R., Barrett N.R.* 1989. Detection of Changes in Leaf Water Content Using Near- and Middle-Infrared Reflectances // *Remote Sens. of Environ.* №30. Pp. 43-54 .
5. *Sato H.P., Tateishi R.* 2004. Land cover classification in SE Asia using near and short wave infrared bands // *Int. J. Remote sensing*. Vol. 25. No. 14. Pp. 2821-2832.