

## Спутниковые методы в анализе изменений запаса лишайников в фитоценозах заповедника «Пасвик»

В.В. Елсаков<sup>1</sup>, Н.В. Поликарпова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

Сыктывкар, 167610, Россия

E-mail: elsakov@ib.komisc.ru

<sup>2</sup> Государственный природный заповедник «Пасвик»

пос. Раякоски, Мурманская область, 184404, Россия

E-mail: polikarpova-pasvik@yandex.ru

В работе представлены результаты анализа изменений растительных сообществ заповедника «Пасвик» (организован в 1992 г.) за период 1984–2014 гг., полученные с использованием спутниковых изображений Landsat. Составленная по результатам полевых исследований геоботаническая карта позволила оценить вклад доминирующих сообществ в растительный покров территории. Развитый лишайниковый покров отмечен на 33,6% территории, из них 28,8% в составе сосновых лесов. Спектрометрические измерения разных лишайников демонстрируют своеобразие спектров отражения талломоов, отличимое от яркостных характеристик сосудистых растений. Все полученные спектры модельных лишайников можно объединить в три группы. На кривые отражения существенное влияние оказывает содержание влаги в талломах; максимум поглощения отмечали при содержании влаги в пределах 100–150% от воздушно-сухого веса. В ходе анализа перпендикулярного индекса растительности (PVI) установлено, что за рассмотренный временной период на большей части территории заповедника наблюдается слабый положительный прирост зеленой фитомассы (изменения от 0 до 0,2 условных единиц PVI в год отмечены на 58,6% территории). Для лишайников в напочвенном покрове территории отмечено превышение прироста над его деградацией. На участках постоянного выпаса оленей в пределах норвежских пастбищ наблюдается значимое снижение показателя: отмечен более низкий прирост и отрицательный тренд показателя PVI.

**Ключевые слова:** тренды изменений растительного покрова, заповедник «Пасвик», спектрометрические исследования, лишайники, индекс PVI, временные композиты Landsat

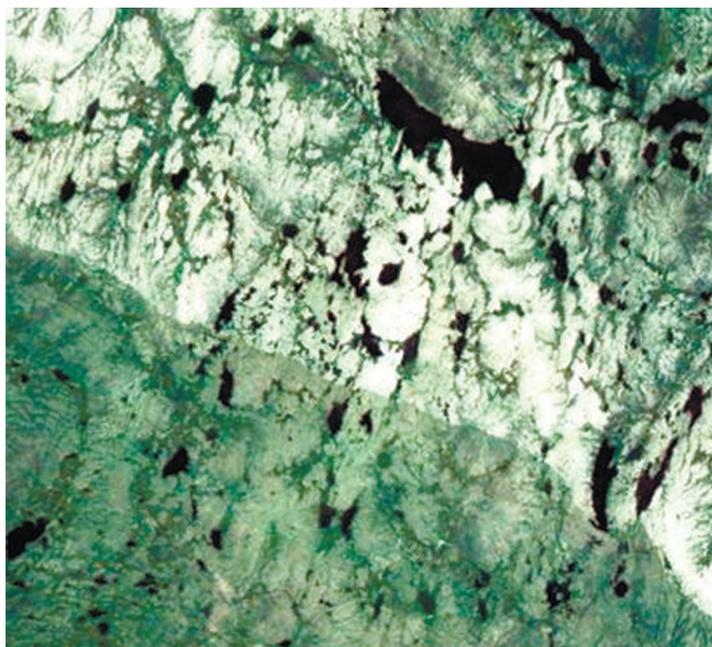
### Введение

В долине р. Паз по обе стороны от российской границы 20 лет назад были созданы две особо охраняемых природных территории – заповедник «Пасвик» (Россия) и природный резерват «Пасвик» (Норвегия). На территории 17 тыс. га сохранены участки самых северных в Европе сосновых лесов и водно-болотных угодий с присущими им растительными сообществами. В 2008 г. территории вошли в трехсторонний (Россия, Норвегия и Финляндия) парк «Пасвик-Инари» и стали эталоном добрососедского и эффективного международного сотрудничества. В 2013 г. территория заповедника вошла в состав экологической федерации «Европарк». Для заповедников России любое вмешательство в естественные отношения, сложившихся между компонентами биогеоценоза связей – это процесс, ведущий к нарушениям охраняемого природного эталона. В настоящее время на территории заповедника «Пасвик», в связи с ограничением и длительным отсутствием выпаса травоядных животных, сформированы фитоценозы с высоким запасом лишайников в напочвенном покрове. Среди доминирующих видов ценные, с точки зрения пастбищного оленеводства, виды кустистых лишайников (*Flavocetraria nivalis*, *Cladonia stellaris*, *C.rangiferina* и др.). Это привлекает оленеводов Норвегии и Финляндии и приводит

к тому, что в зимний период группы выпасаемых домашних оленей в количестве от 10–20 до 400 голов все чаще встречаются на участках заповедника, защищенных также от влияния хищников и браконьеров пограничным режимом. Принято считать, что в среднем олень съедает в сутки кормовую смесь в количестве  $3,75 \div 5,35$  кг воздушно-сухой массы (Сыроватский, 2000; Казьмин, Абатуров, 2011 и др.), поэтому потребление пришедшими оленями лишайникового покрова в течение зимнего периода, а также его вытаптывание может наносить существенный ущерб экосистемам территории. Согласно российско-норвежского договора от 1949 г. и межправительственного соглашения от 11 февраля 1977 г. олени беспрепятственно в течение ряда дней/недель изгоняются с территории заповедника, однако наносимый выпасом оленей ущерб остается. Цель настоящей работы состояла в разработке и опробовании возможностей использования материалов спутниковых съемок для анализа временных изменений запаса лишайников в напочвенном покрове фитоценозов заповедника, связанных с возможностью оценки ущерба при неконтролируемой пастбищной нагрузке.

Оптические свойства растительных сообществ во многом определяются суммарным накоплением пигментов в надземной зеленой фитомассе растениями разных жизненных форм, их соотношением в фитоценозах, обводненностью сообществ, сезоном съемки и др. Диапазоны электромагнитного спектра съемки в области  $0,45\text{--}1,75$  мкм используются как индикаторы при выделении контуров разных растительных сообществ (классификации), количественной оценке сезонного развития растений и анализе продуктивности фитоценозов, выявлении интенсивности и направленности естественных смен растительности или ее деградации.

Несмотря на незначительный запас пигментов, накапливаемых в талломах лишайников, их оптические свойства используются для анализа прироста/деградации лишайникового покрова по спутниковым изображениям. К примеру, суммарное содержание хлорофиллов а и b в талломах лишайника кладония оленья варьирует в пределах  $0,4 \pm 0,03$  мг/г сухой массы, к.звездчатая –  $0,35 \pm 0,028$  мг/г сухой массы. Для сравнения: в сосудистых растениях содержание показателя значительно выше и достигает  $5,10 \pm 0,24$  мг/г сухой массы (листья карликовой березки),  $5,34 \pm 0,3$  (осока водяная) (Головки и др., 2007). Поэтому проективный запас пигментов лишайниковых фитоценозов низкий, спектры отражения приближены к лишенным растительности почвам и грунтам и даже для участков с максимально сформированными лишайниковыми матами (с массой до  $1,5\text{--}1,8$  кг/м<sup>2</sup>) показатель запаса хлорофилла не превышает  $0,48 \div 0,69$  г/м<sup>2</sup> (Елсаков, 2013). Любое изменение характеристик структуры напочвенного покрова, связанное с ростом участия в фитоценозе сосудистых растений или значительной деградацией лишайникового покрова, достаточно отчетливо регистрируется на спутниковых изображениях (рис. 1). Поэтому оптические съемки достаточно часто становятся источником данных для оценок состояния лишайниковых пастбищ (Colpaert, Kumpula, 2011; Falldorf et al., 2014; Елсаков, 2012, 2014).



*Рис. 1. Пример наблюдаемой границы между участками с развитым/нарушенным лишайниковым покровом под выпасом оленей вдоль границе Норвегии и Финляндии по материалам съемки Landsat (RGB = 3/2/1) (Johansen et al., 2014)*

### **Методика выполнения работы**

В летний сезон 2014 г. были выполнены работы по полевому обследованию естественных фитоценозов территории заповедник «Пасвик» и пространственному учету фиотомассы доминирующих видов лишайников для создания модели запаса лишайниковых кормов в фитоценозах территории (Выполнение..., 2014). В ходе проведенных работ было заложено 5 маршрутов с выполнением кратких описаний доминирующих фитоценозов, фиксированием их GPS координат для дальнейшего позиционирования и отбором образцов фитомассы лишайников методом укусов. Полученные материалы стали основой для выполнения геоботанической карты М 1 : 100 000 (рис. 2) по результатам экспертного дешифрирования и поэтапной управляемой классификации спутниковых изображений. Алгоритм выполнения работы включал в себя последовательность операций, проводимых с безоблачными изображениями *Landsat TM5* (6.8.2011) и *Landsat 8* (13.9.2013). Предварительная обработка включала в себя стандартные процедуры топографической (с использованием модели рельефа *SRTM*), атмосферной и радиояркостной коррекции. Анализ корректности выполненной классификации растрового спутникового изображения по материалам полевых описаний демонстрирует хороший уровень сходимости – для модельного участка, представленного 56 общими геоботаническими описаниями, общая сходимость для классов растительности составила 61,5%, каппа 55,7%.

С целью анализа нагрузки, испытываемой экосистемами заповедника «Пасвик» со стороны несанкционированного зимнего выпаса оленей норвежскими хозяйствами на территории, была разработана и построена модель распределения запасов лишайников.

## РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «ПАСВИК» И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ

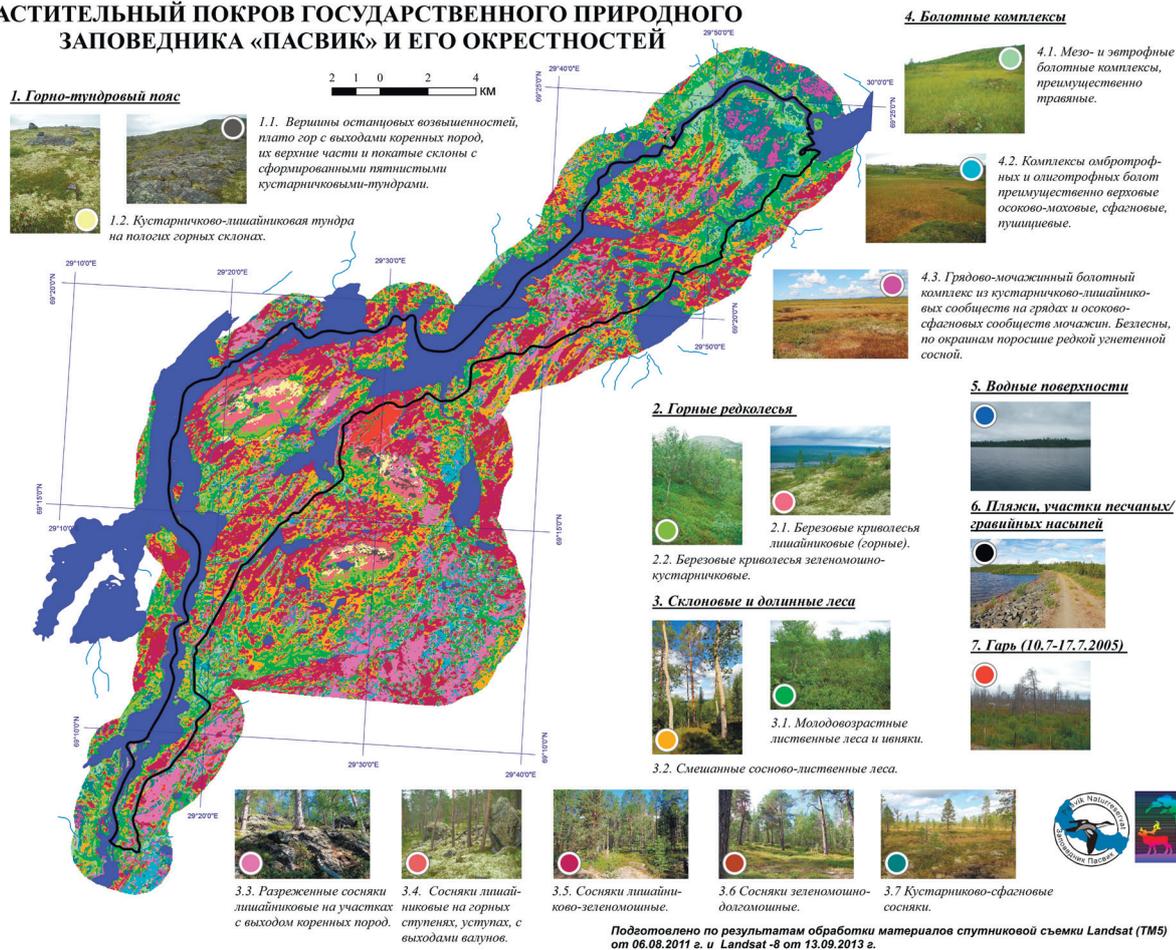


Рис 2. Пример листа тематической карты растительного покрова заповедника «Пасвик»

Для этого для значений выполненных весовых измерений собранных образцов и показателей спектральных характеристик данных участков, отображенных на спутниковых изображениях, была выявлена функция регрессионной связи переменных ( $n=42$ , 14 модельных фитоценозов). Для построения модели были использованы изображения начала, середины и конца вегетационного периода: 07.07.2014 (TM8), 16.08.2011 (TM5) и 13.09.2013 (TM8). Используемые алгоритмы обработки данных и анализ полученных результатов будут представлены в отдельной работе. В ходе камеральной обработки талломы собранных лишайников использовали для выявления особенностей спектральных характеристик с применением переносного портативного спектрометра ASD Field Spec HH (hand held). Для фиксирования спектров отражения была использована направляющая с размером окна в 1 градус, выдержка равнялась 4,35 секунды, освещение было дневное рассеянное, объект исследования находился на расстоянии 20 см. Спектральные величины снимались с талломов в градиенте различного влагонасыщения (рис. 3). Анализ спектров отражения позволил выявить наиболее значимые для оценки запасов лишайников диапазоны излучения и привлекать для работы каналы спутниковых изображений.

Для анализа изменений растительных сообществ почвенного покрова выполняли сравнение значений перпендикулярного индекса растительности (PVI, perpendicular VI),

полученных для каждого элемента изображения снимков разных лет. Графически индекс представляет собой расстояние перпендикуляра, проведенного из пиксела до линии почв в спектральном пространстве красного и ближнего инфракрасного каналов (Silleos et al., 2006). Расчет индекса проводили общепринятыми способами (Richardson Wiegand, 1977):

$$PVI = \sin(\alpha) \cdot NIR - \cos(\alpha) \cdot RED,$$

где  $\alpha$  – угол между почвенной линией и осью *NIR*. В качестве источников данных использовали 12 изображений *Landsat TM* летнего сезона временного периода 1984–2009 гг. Для всех изображений проведена пространственная и радиометрическая калибровка, топографическая коррекция С-методом (Teillet et al., 1982). На основании подготовленной временной серии изображений рассчитывали тренд изменений показателя PVI. Изображения, обнаружившие существенные скачки значений индекса на участках с неизменяющимися характеристиками растительного покрова (дорожные покрытия, зеркала озер), в расчет не принимались.

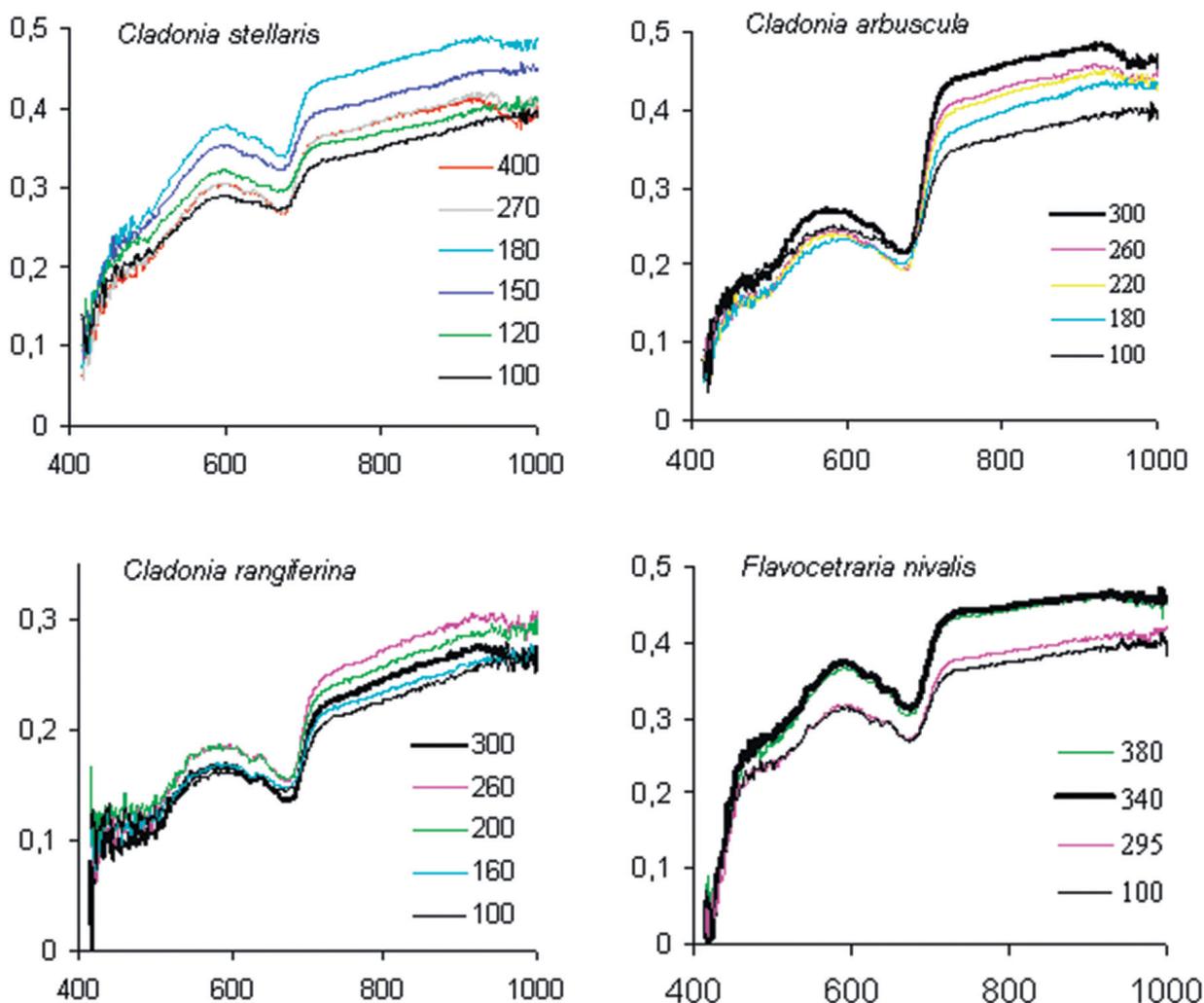


Рис. 3. Спектры отражения отдельных доминирующих лишайников при разном влагонасыщении таллома (содержание влаги приведено к относительно сухой массе талломов, %). По оси абсцисс длина волны, нм, ординат - степень отражения, %

## Результаты

В пределах территории заповедника «Пасвик» по результатам полевых исследований и результатов классификации спутникового изображения выделено 17 классов земной поверхности, из которых 14 связаны с доминированием отдельных растительных сообществ (табл. 1). Наиболее распространены лесные сообщества (66%, из них леса сосновых формаций составляют 49,7%), болотные (7,8%), горные тундры и редколесья (6,8%). Развитый лишайниковый покров отмечен на 33,6% территории, 28,8% которых приходится на сосновые леса. Максимальный запас лишайников на заложенных модельных площадках различных сообществ варьировал от  $286,3 \pm 84,7$  г/м<sup>2</sup> ( $S \pm tS_x$ ,  $p=0,95$ ,  $n=3$ ) до  $1574 \pm 644$  г/м<sup>2</sup> в склоновом кустарничковом сосняке лишайниково-моховом.

Таблица 1. Доминирующие классы земной поверхности и растительного покрова территории Государственного природного заповедника «Пасвик»

<i>Название:</i>	<i>S, км<sup>2</sup>/%</i>
1. Горно-тундровый пояс	
1.1. Вершины останцевых возвышенностей, плато гор с выходами коренных пород, их верхние части и покатые склоны с сформированными пятнистыми кустарничковыми-тундрами	0,4/0,3
1.2. Кустарничково-лишайниковая тундра на пологих горных склонах с постоянным снежным покровом зимой. В напочвенном ярусе преобладают цетрария снежная ( <i>Flavocetraria nivalis</i> )	1,41/0,9
2. Горные редколесья	
2.1. Березовые криволесья лишайниковые	2,32/1,5
2.2. Зеленомошно-кустарничковые сообщества с разреженной березой извилистой часто переходящие в ерниковые и воронично-моховые тундры	6,70/4,4
3. Склоновые и долинные леса	
3.1. Лиственные леса (березняки и осинники), молодозрелые лиственные леса и ивняки	24,9/16,4
3.2. Смешанные сосново-березовые леса	21,0/13,9
3.3. Разреженный сосняк лишайниковый на участках с выходом коренных пород	9,02/6,0
3.4. Сосняки лишайниковые на горных ступенях, уступах, с выходами валунов	3,49/2,3
3.5. Сосняки лишайниково-зеленомошные	31,1/20,5
3.6. Сосняки зеленомошно-долгомошные	1,64/1,1
3.7. Кустарничково-сфагновые сосняки	8,88/5,9
4. Болотные комплексы	
4.1. Осоково-моховые (сфагновые)	1,63/1,1
4.2. Грядово-мочажинный болотный комплекс из кустарничково-лишайниковых сообществ на грядах и осоково-сфагновых сообществах мочажин	3,65/2,4
4.3. Мезо- и эвтрофные болотные комплексы преимущественно травяные	6,51/4,3
5. Водные поверхности	28,5/18,8
6. Пляжи, участки песчаных/гравийных насыпей	0,007/0,0
7. Гарь (10.7–18.8.2005)	0,194/0,1
<b>ИТОГО:</b>	<b>151,4/100</b>

Развитие напочвенных лишайников отмечено и в пределах болотных массивов: на верхних частях бугров грядово-мочажинных болотных комплексов суммарные запасы *C.arbuscula* (60–70%) и *C. rangiferina* (17–30%) достигали до  $1225 \pm 133$  г/м<sup>2</sup>. Анализ полученных результатов показал, что показатели запаса лишайников достаточно близки для величин, ранее отмеченных нами для лишайниковых фитоценозов территории Среднего Урала (Печоро-Ильчский заповедник) (максимальные величины запаса составили  $1870 \pm 670$  г/м<sup>2</sup>), горных тундр Полярного Урала. Ранее отмечено (Эктова, 2004), что запас массы лишайников разных родов в зависимости от стадий пастбищной трансформации в сообществах варьировал от 300 г/м<sup>2</sup> (вне выпаса) до 40 г/м<sup>2</sup> (сильно нарушенные). В настоящее время запас лишайников в напочвенном покрове заповедника «Пасвик» характеризуется как слабо затронутый нагрузкой выпаса. Суммарный запас лишайников в напочвенном покрове по построенной по модели с привлечением спутниковых данных для территории всего заповедника оценен в 7,7 тыс. т. Интенсивность годовичного прироста лишайников в различных сообществах определяется видовыми особенностями, эколого-ценотическими условиями, градиентами широтной и высотной поясности (Абдульманова, Эктова, 2013) и оценивается от 2,4% до 10% от общего запаса, в среднем – 5% (Морозова и др., 2006). Поэтому для участков заповедника с развитыми напочвенным лишайниковым покровом годовичный прирост может оценен в количестве  $20 \pm 80$  г/м<sup>2</sup>, а прирост для всей территории составляет 385 т.

Спектрометрические измерения талломов разных видов демонстрируют своеобразие спектров отражения лишайниковых талломов, отличимое от яркостных характеристик сосудистых растений (рис. 4). С одной стороны, на формирование оптических свойств талломов влияет таксономическая принадлежность фикобионта. Среди рассмотренных лишайников

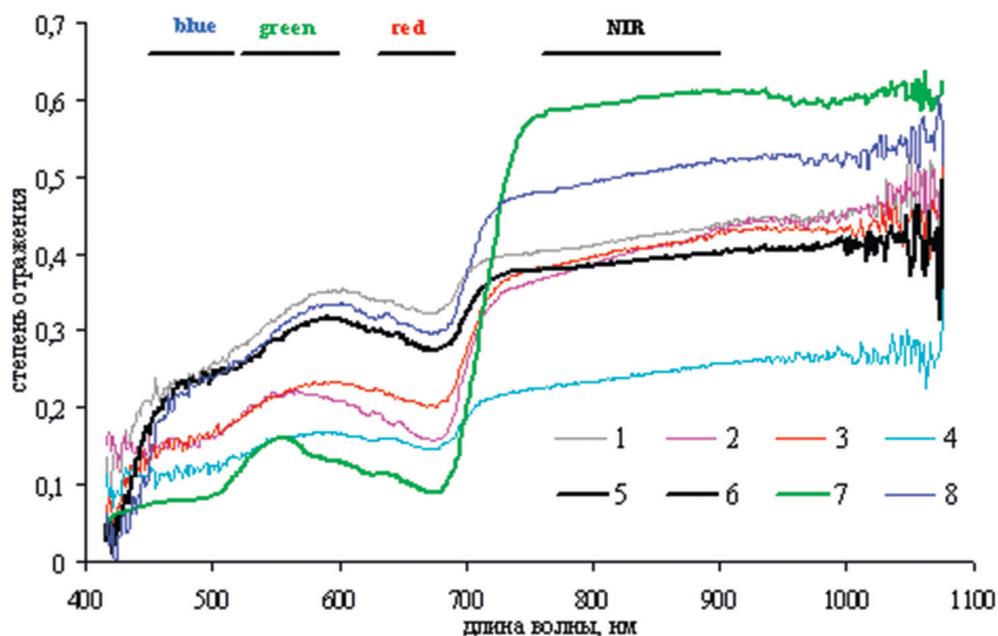
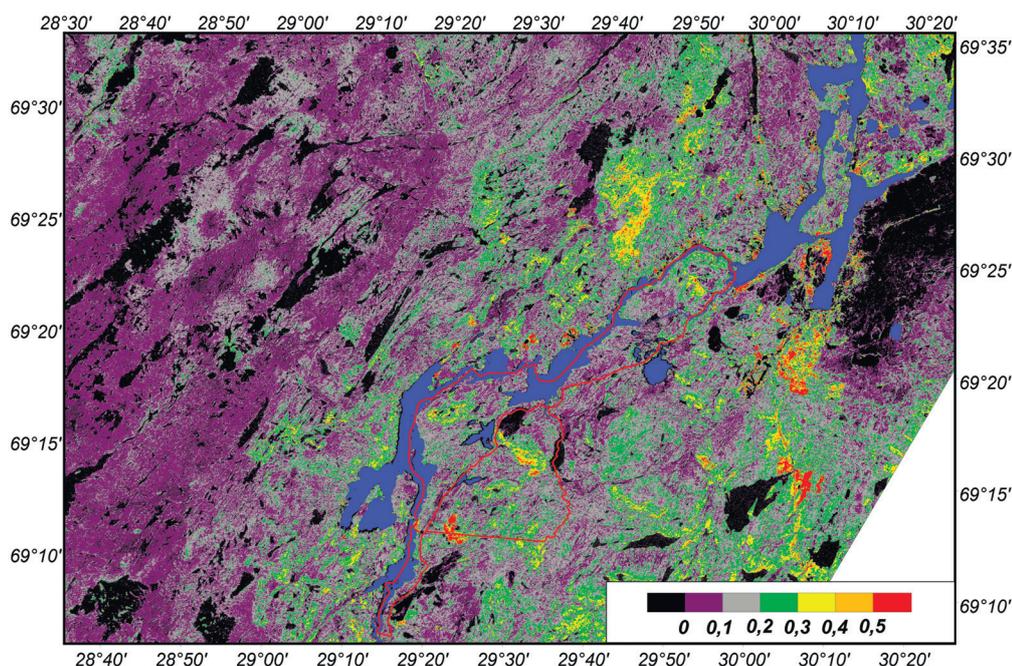


Рис. 4. Спектральные особенности модельных растений. Цифрами обозначены спектры: 1 – *Cladonia stellaris*, 2 – *Stereocaulon paschale*, 3 – *Cladonia arbuscula*, 4 – *Cladonia rangiferina*, 5 – *Flavocetraria nivalis*, 6 – участки спектральных диапазонов в 1–4 каналах Landsat 7 ETM+, 7 – хвоя ели сибирской (*Piceae obovata*), 8 – талломы *Alectoria nigricans*

доминировали талломы с зелеными *Trebouxia* (*Cetraria nivalis*, *C.stellaris*, *C.arbuscula*, *Cladonia rangiferina*, *Alectoria nigricans*) и синезелеными *Stigonema* (*Stereocaulon paschale*) фикобионтами (Окснер, 1974; Определитель..., 1978). С другой – отмечено (Gauslaa, Solhaug, 2001) существенное влияние вторичных метаболитов (меланины), продуцентами которых является грибной компонент. Немаловажное значение играет и влагонасыщенность талломов (Rees et al., 2004; Colpaert, Kumpula, 2011), широко варьирующая в зависимости от микроклиматических и погодных условий. С изменением содержания влаги (максимальная влагонасыщенность может достигать до 300–400% от воздушно-сухой массы таллома) отмечено смещение кривой спектральной яркости. Максимум сорбции электромагнитного излучения отмечен при влагонасыщении 100–150% от воздушно-сухого таллома. Последующий рост содержания влаги приводит к увеличению степени отражения. У ряда лишайников (*Cladonia arbuscula*, *Flavocetraria nivalis*) отмечен постоянный рост степени отражения при увеличении влагонасыщения (рис. 3). У других, при достижении индивидуального максимума, затем происходит рост сорбции (для *Stereocaulon paschale* – 150%, *Cladonia stellaris* – 180%, *Cladonia rangiferina* – 260%). Сходство кривых спектральной яркости позволяет объединить рассмотренные лишайники в несколько групп. Первая группа (*Alectoria nigricans*, *Flavocetraria nivalis* и *Cladonia stellaris*) характеризуется наиболее высокими значениями отражения как относительно других лишайников, так и сосудистых растений в синем, зеленом и красном каналах. В ближнем инфракрасном канале значения яркости ниже, чем у сосудистых растений, значимое превышение значений над остальными лишайниками сохраняется только у *Alectoria nigricans*. Вторая группа включает достаточно схожие спектры отражения (*Cladonia arbuscula* и *Stereocaulon paschale*). Спектры отражения лишайников данной группы характеризовались по интенсивности промежуточными величинами отражения. Наиболее низкие показатели отражения отмечены у *Cladonia rangiferina* (третья группа). Отмеченные различия демонстрируют возможность использования яркостных характеристик для вычисления спектральных индексов при составлении и анализе спектральных библиотек.

Для анализа временных изменений напочвенного покрова территории заповедника и прилегающих к нему участков рассматривали тренды изменений индекса *PVI* за период 1984–2009 гг. (заповедник организован в 1992 г., т.е. подготовленный временной период связан с влиянием установленного заповедного режима). Используемые в расчете индекса 3 и 4 каналы *Landsat* в меньшей степени подвержены атмосферному влиянию в отличие от 1 и 2 каналов. Для указанного временного периода на большей части территории заповедника наблюдается слабый положительный прирост зеленой фитомассы (изменения от 0 до 0,2 условных единиц *PVI* в год отмечены на 58,6% территории) (рис. 5). Из них 27,7% – это территории с доминированием лишайников в напочвенном покрове: горно-тундровых (0,77%), лесных (25,2%) сообществ и грядово-мочажинных комплексов (1,9%). Существенные положительные изменения отмечены на участках восстанавливающихся листовенных травяно-зеленомошных лесов.

Это характеризует территорию заповедника как мало нарушенную, с преобладанием прироста лишайников над деградацией, и позволяет констатировать превышение скорости прироста лишайников над потребляемой сравнительно небольшой группой оле-



*Рис. 5. Тренд изменения индекса PVI в пределах территории заповедника (красная линия). Участок с отрицательными показателями PVI (черное пятно) маркирует участки деградации лишайникового покрова в районе, подверженном влиянию выбросов ГМК «Печенганикель»*

ней фитомассой. Сравнительный анализ территории, примыкающей к заповеднику с норвежской стороны, показал, что данные фитоценозы в большей степени подвержены выпасу, деградация лишайников в напочвенном покрове более выражена – основная площадь контуров приходится на изменения  $-0,1 \div 0,1$  условных единиц PVI в год, на отдельных участках фиксируется отрицательный тренд изменений фитомассы. Отрицательный тренд изменений отмечен и на участке, примыкающем к ГМК «Печенганикель». Деградация растительного покрова происходит в результате выбросов комбината.

Работа выполнена в рамках договора с ФГБУ «Государственный заповедник «Пасвик» при поддержке социального проекта «Охрана природы и традиционное природопользование в долине р. Паз и окрестностях ОАО «Кольская ГМК» (2014–2015 гг.), конкурса социальных проектов благотворительной программы «Мир новых возможностей».

## Литература

1. Абдульманова С.Ю., Эктова С.Н. Соотношение прироста по высоте и по биомассе у кустистых лишайников // Изв. Самарского научного центра РАН. 2013. Т.15. №3(2). С. 688–691.
2. Выполнение геоботанических исследований территории Государственного природного заповедника «Пасвик» и его окрестностей (бассейн Пасвик-Инари) для построения карты растительного покрова. Отчет по теме договора 24-01. Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН. 2014. С.23.
3. Головки Т.К., Табаленкова Г.Н., Дымова О.В. Пигментный комплекс растений Приполярного Урала // Ботанический журнал. 2007. Т.92. №11. С. 1732–1740.
4. Елсаков В.В. Спутниковая съемка в оценке продуктивности экосистем Европейского Севера // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. №1. С.71–79.
5. Елсаков В.В. Материалы спутниковых съемок в анализе значений хлорофильного индекса тундровых фитоценозов // Исследования Земли из космоса. 2013. №1. С. 60–70.

6. *Елсаков В.В.* Оперативная ресурсная оценка пастбищных угодий северного оленя по спектрально-зональным спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. №1. С. 245–255.
7. *Казьмин В.Д., Абатуров Б.Д.* Механические свойства снежного покрова и доступность подснежных кормов для северного оленя (*Rangifer tarandus*) и овцебыка (*Ovibos moschatus*) на пастбищах о-ва Врангеля // Зоол. журн. 2009. Т.88. №8. С. 990–1000.
8. *Морозова Л.М., Магомедова М.А., Эктова С.Н., Дьяченко А.П., Князев М.С.* Растительный покров и растительные ресурсы Полярного Урала. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета. 2006. 796 с.
9. *Окснер А.Н.* Определитель лишайников СССР. Вып. 2. Морфология, систематика и географическое распространение. Л.: Изд-во Наука. 1974. 284 с.
10. *Сыроватский Д.И.* Экономика и организация оленеводческого производства. Якутск, 2000. 408 с.
11. *Эктова С.Н.* Изменение разнообразия и фитоценотической роли лишайников в горных тундрах Полярного Урала под воздействием выпаса северных оленей: Автореф. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Екатеринбург. 2004. 14 с.
12. *Colpaert A., Kumpula J.* Detecting changes in the state of reindeer pastures in northernmost Finland, 1995–2005 // Polar Record. 2011. Vol. 48(01). P. 74–82.
13. *Falldorf T., Strand O., Panzacchi M., Tømmervik H.* Estimating lichen volume and reindeer winter pasture quality from Landsat imagery // Remote Sensing of Environment. 2014. Vol. 140. P. 573–579.
14. *Gauslaa Y., Solhaug K.A.* Fungal melanins as a sun screen for symbiotic green algae in the lichen *Lobaria pulmonaria* // Oecologia. 2001. Vol. 126. P. 462–471.
15. *Johansen B., Tømmervik H., Bjerke J.W., Karlsen S.R.* Vegetation and ecosystem transformation on Finnmarksvidda, Northern Norway, due to reindeer grazing pressure // Proceedings of The 13th International Circumpolar Remote Sensing Symposium. Reykjavik. 7–12 September 2014.
16. *Rees W.G., Tutubalina O.V., Golubeva E.I.* Reflectance spectra of subarctic lichens between 400 and 2400 nm // Remote Sensing of Environment. 2004. Vol. 90. P. 281–292.
17. *Richardson A.J., Wiegand C.L.* Distinguishing vegetation from soil background information // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 1977. Vol. 43. P. 1541–1552.
18. *Silleos N.G., Alexandridis T.K., Gitas I.Z., Perakis K.* Vegetation Indices: Advances Made in Biomass Estimation and Vegetation Monitoring in the Last 30 Years // *Geocarto International*. 2006. Vol. 21. No. 4. P. 21–28.
19. *Teillet P.M., Guindon B., Goodeonugh D.G.* On the slope-aspect correction of multispectral scanner data // Can. J. Remote Sens. 1982. Vol. 8. P. 84–106.

## Satellite methods for the analysis of changes in lichen cover in vegetation communities of Pasvik Nature Reserve

V.V. Elsakov<sup>1</sup>, N.V. Polikarpova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Biology of Komi Science Centre UrD RAS  
Syktyvkar 167610, Russia  
E-mail: elsakov@ib.komisc.ru*

<sup>2</sup> *Pasvik State Nature Reserve, Rayakoski, Murmansk Region 184404, Russia  
E-mail: polikarpova-pasvik@yandex.ru*

The work presents an analysis of changes in plant communities at Pasvik Nature Reserve (established in 1992) for the period of 1984–2014 based on Landsat satellite data. The results of field research and geobotanical satellite maps allowed estimating the contribution of the dominant vegetation communities of the reserve area. A developed lichen cover is recorded on 33,6% of the territory, 28,8% of which is comprised of pine forest. Spectrometric measurements of different lichens demonstrate the peculiar nature of lichen thalli reflectance spectra, which is different from brightness characteristics of vascular plants. All spectra of model lichens can be grouped into three classes. Reflection curves are significantly affected by the moisture content of thalli; the maximum absorption is observed at a moisture content in the range of 100–150% of the air-dry weight. The analysis of spectral perpendicular vegetation index (PVI) has shown, that in the considered time period, the most part of the reserve territory has experienced a weak positive growth of green phytomass (a change from 0 to 0,2 PVI per year was recorded on 58,6% of the territory). In the lichen communities, overall growth exceeded degradation. In the areas of permanent pasture within the Norwegian reindeer pastures, a significant decline was observed reflected in weaker growth and negative trend of PVI.

**Keywords:** trends of vegetation changes, Pasvik Nature Reserve, spectrometric measurements, lichens, PVI, multi-temporal Landsat composites

## References

1. Abdul'manova S.Yu., Ekktova S.N., Sootnoshenie prirosta po vysote i po biomasse u kustistyh lishajnikov (The ratio of height increment and biomass in bushy lichens), *Izv. Samarskogo nauchnogo centra RAN*, 2013, Vol. 15, No. 3(2), pp. 688–691.
2. *Vypolnenie geobotanicheskikh issledovaniy territorii Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Pasvik» i ego okrestnostej (bassejn Pasvik-Inari) dlya postroeniya karty rastitel'nogo pokrova* (The implementation of geobotanical studies of the territory of the State natural reserve "Pasvik landscape protection area and its surroundings (Pasvik-Inari area) to build a map of vegetation cover), Syktyvkar: IB Komi NC UrO RAN, 2014, 23 p.
3. Golovko T.K., Tabalenkova G.N., Dymova O.V., Pigmentnyy kompleks rastenij Pripolyarnogo Urala (Pigment complexes of Subpolar Urals plants), *Botanicheskij zhurnal*, 2007, Vol. 92, No. 11, pp. 1732–1740.
4. Elsakov V.V., Sputnikovaya s"emka v ocenke produktivnosti ekosistem Evropejskogo Severa (Satellite images for estimation of ecosystem productivity at the European North), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 1, pp. 71–79.
5. Elsakov V.V., Materialy sputnikovyh s"emok v analize znachenij hlorofil'nogo indexa tundrovyh fitocenzozov (The satellite shots in analysis of chlorophyll index values of tundra plant communities), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2013, No. 1, pp. 60–70.
6. Elsakov V.V., Operativnaya resursnaya ocenka pastbishchnyh ugodij severnogo olenya po spektrozonal'nym sputnikovym dannym (The operational resource assessment of reindeer pastures with multispectral satellite data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 11, No. 1, pp. 245–255.
7. Kaz'min V.D., Abaturov B.D., Mekhanicheskie svoystva snezhnogo pokrova i dostupnost' podsnezhnyh kormov dlya severnogo olenya (Rangifer tarandus) i ovcebyka (Ovibos moschatus) na pastbishchah o-va Vrangelya (The mechanical properties of the snow cover and the availability of winter feed for reindeer (Rangifer tarandus) and musk ox (Ovibos moschatus) in Wrangel Islands pastures), *Zool. zhurn.*, 2009, Vol. 88, No. 8, pp. 990–1000.
8. Morozova L.M., Magomedova M.A., Ektova S.N., D'yachenko A.P., Knyazev M.S., *Rastitel'nyj pokrov i rastitel'nye resursy Polyarnogo Urala* (The vegetation and plant resources of the Polar Urals), Ekaterinburg: Izd-vo Ural'skogo un-ta, 2006, 796 p.
9. Oksner A.N., *Opredelitel' lishajnikov SSSR. Vyp. 2* (Keys to the lichens of the USSR. Issue 2), Leningrad: Nauka, 1974, 284 p.
10. Syrovatskij D.I., *Ekonomika i organizaciya olenevodcheskogo proizvodstva* (The Economic and organization of reindeer production), Yakutsk, 2000, 408 p.
11. Ektova S.N., *Izmenenie raznoobraziya i fitocenoticheskoj roli lishajnikov v gornyh tundrah Polyarnogo Urala pod vozdejstviem vypasa severnyh oleney. Avtoref. kand. biol. nauk.* (The phytocenotic diversity changes and the role of lichens at Polar Ural Alpine tundra under the influence of reindeer grazing, Synopsis of Cand. bio. sci. thesis), Ekaterinburg, 2004, 14 p.
12. Colpaert A., Kumpula J., Detecting changes in the state of reindeer pastures in northernmost Finland, 1995–2005, *Polar Record*, 2011, Vol. 48, No. 1, pp. 74–82.
13. Falldorf T., Strand O., Panzacchi M., Tømmervik H., Estimating lichen volume and reindeer winter pasture quality from Landsat imagery, *Remote Sensing of Environment*, 2014, Vol. 140, pp. 573–579.
14. Gauslaa Y., Solhaug K.A., Fungal melanins as a sun screen for symbiotic green algae in the lichen *Lobaria pulmonaria*, *Oecologia*, 2001, Vol. 126, pp. 462–471.
15. Johansen B., Tømmervik H., Bjerke J.W., Karlsen S.R., Vegetation and ecosystem transformation on Finnmarksvidda, Northern Norway, due to reindeer grazing pressure, *13th International Circumpolar Remote Sensing Symposium*, Proc. Symp., Reykjavik, 7–12 September 2014.
16. Rees W.G., Tutubalina O.V., Golubeva E.I., Reflectance spectra of subarctic lichens between 400 and 2400 nm, *Remote Sensing of Environment*, 2004, Vol. 90, pp. 281–292.
17. Richardson A.J., Wiegand C.L., Distinguishing vegetation from soil background information, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1977, Vol. 43, pp. 1541–1552.
18. Silleos N.G., Alexandridis T.K., Gitas I.Z., Perakis K., Vegetation Indices: Advances Made in Biomass Estimation and Vegetation Monitoring in the Last 30 Years, *Geocarto International*, 2006, Vol. 21, No. 4, pp. 21–28.
19. Teillet P.M., Guindon B., Goodeonugh D.G., On the slope-aspect correction of multispectral scanner data, *Can. J. Remote Sens.*, 1982, Vol. 8, pp. 84–106.