Анализ валового запаса и проективного покрытия лишайников в напочвенном покрове фитоценозов Государственного природного заповедника «Пасвик»

В.В. Елсаков¹, В.М. Щанов¹, Н.В. Поликарпова²

¹Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 167610, Сыктывкар, Россия E-mail: elsakov@ib.komisc.ru ²Государственный природный заповедник «Пасвик», 184404, Мурманская область, пос. Раякоски, Россия E-mail: polikarpova-pasvik@yandex.ru

Представлены результаты анализа комбинации спутниковых съемок различного разрешения (World View 2 и Landsat) и инструментальных полевых наблюдений для моделирования показателей проективного покрытия (ПП, %) и валового запаса (ВЗ, г/м²) напочвенных лишайников в растительных сообществах заповедника «Пасвик». В основу подготовки моделей легли принципы анализа связей спектральных величин и точечных полевых измерений с использованием методов многомерной линейной регрессии. Среднее проективное покрытие лишайников в напочвенном покрове территории составило 6,4% (0,9–21,5% для выделенных контуров). Величины ПП лишайников на территории заповедника, полученные с использованием приведенной в работе модели, в среднем в 6,3 раза ниже значений, рассчитанных только по тематической классификации Landsat с выделением лишайниковых сообществ. Наименьшие различия прослеживаются в выделенных ландшафтно-геоботанических контурах с низкой представленностью классов с доминированием лишайников и низкими показателями ПП лишайников в напочвенном покрове (менее 5%). На участках с доминированием болотных сообществ расхождение между сравниваемыми величинами было минимально – в среднем 1,1 раз (0,5-1,9). Использование тематической классификации (карты растительности) в отношении остальных сообществ для расчета площадных характеристик увеличивало ПП напочвенных лишайников в 6,8 раз для горно-тундровых (5,6-8,1 раз) и в 8,0 раз для лесных сообществ (2,5-19,8 раз). Характеризующие ПП лишайников величины позволили выполнить коррекцию и экстраполяцию результатов инструментальных измерений на всю охраняемую территорию. Модель ВЗ фитомассы лишайников оценивает суммарный запас талломов в фитоценозах заповедника в 970 т при средней плотности запаса по всей территории 512 кг/га (20,9– 1962 кг/га). Сопоставление полученных результатов с независимыми данными экспертных оценок (через показатель оленеемкости) показывает суммарное отклонение (занижение) результатов моделирования на 18,2%. Данные расхождения подчеркивают важность использования методов компонентного анализа при выполнении количественных расчетов ресурсных характеристик фитоценозов.

Ключевые слова: спутниковые методы исследований, валовый запас и проективное покрытие напочвенных лишайников, растительный покров заповедника «Пасвик»

Одобрена к печати: 01.03.2017 DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-2-72-83

Введение

Традиционным видом хозяйственного использования территории Субарктического и Арктического сектора России является пастбищное оленеводство. Тундры и лесотундры России, занимающие площадь порядка 321 млн га, в пределах 289,5 млн га (Сенокосы..., 1969) традиционно используются под пастбищный выпас оленей. Среди основных угроз отрасли для территории Европейского Севера и Западной Сибири можно констатировать широкую деградацию качества пастбищных угодий северного оленя, прежде всего их делихенизацию, наблюдаемую в настоящее время (Кряжимский и др., 2011). Это связано с высокой численностью выпасаемых животных, нарушением установленных путей миграции, сокращением площади пастбищ за счет промышленного освоения территории и загрязнением прилегающих участков, изменением экосистем в результате климатических флуктуаций и последующим закустариванием. Последствия таких изменений вызывают массовую гибель животных, которая в последние годы все чаще отмечается в хозяйствах Арктической России.

Сопоставление количественных показателей, характеризующих запасы лишайниковых кормов на современных и архивных (1980-е гг.) тематических картах, показывает существенное падение ресурсных характеристик. Для тундр Полярного Урала показатель оленеемкости по лишайниковым кормам для многих ранее отмеченных участков отсутствует и лишь в редких контурах составляет 3 единицы, чаще 0–2, против 3,1–24,8 в 80-е гг. (Морозова и др., 2006). Информационные издания практически ежегодно приводят данные о катастрофической гибели животных, причина которой во многом обусловлена деградацией состояния пастбищных угодий. В зимний период 2014 г. на территории Ямало-Ненецкого АО от истощения погибло от 70 тыс. до 100 тыс. голов оленей (За зиму..., 2014). На территории о-ва Колгуев из 8,7 тыс. голов (2012 г.) в 2015 г. осталось не более 200 голов животных (Причинами..., 2014). В мае 2014 г. от сбросов пластовых вод зафиксирован падеж 150 оленей СПК «Ижемский оленевод» (Причина..., 2014). Для отдельных регионов отмечено быстрое закустаривание пастбищно-пригодных площадей, что прослеживается по тренду интенсивного роста межгодовых значений NDVI (Елсаков, 2013; Елсаков, Кулюгина, 2014).

Все это свидетельствует о необходимости разработки и внедрения в практику алгоритмов оперативной системы инвентаризации оленьих пастбищ, основанной на привлечении современных информационных источников. На сегодняшний день работы по изучению структурных и функциональных особенностей наземных экосистем, входящих в состав оленьих пастбищ по спутниковым изображениям, наиболее интенсивно проводятся в странах Скандинавии и Канады (Oksanen, Virtanen, 1995; Väre et al., 1995; Olofsson et al., 2001; Colpaert, Kumpula, 2011; Falldorf et al., 2014). В Институте биологии Коми НЦ УрО РАН с 2004 г. выполняются работы по разработке технологических решений, направленных на выполнение оперативной инвентаризации кормовых единиц пастбищных угодий, коррекции планов землепользования отдельных оленеводческих хозяйств. Разработанные алгоритмы опробованы в ходе выполнения работ по отдельным хозяйствам, оформлены и защищены патентами (Елсаков и др., 2012; Елсаков, 2014б) и представлены в публикациях (Елсаков и др., 2011; Елсаков, 2014а). Среди эффективных способов оценки ресурсов растений различных жизненных форм выделяются алгоритмы моделирования запаса на основе выявления корреляционных связей спектральных величин и точечных инструментальных измерений. Используя линейные или иные зависимости, удается построить прогнозную модель распределения характеристик, а введение дополнительных ограничений (отдельные характеристики компонентов экосистем, рельефа и др.) позволяет увеличить достоверность моделируемых величин.

Цель настоящей работы состояла в разработке и опробовании новых алгоритмов оценки проективного покрытия (ПП) и валового запаса (ВЗ) напочвенных лишайников с привлечением материалов спутниковой съемки на примере растительных сообществ заповедника «Пасвик» (Мурманская область). Начальные этапы работы отражены в ранее представленной публикации (Елсаков, Поликарпова, 2015). Порядок выполнения работы, связи между основными этапами представлены на блок-схеме (рис. 1).

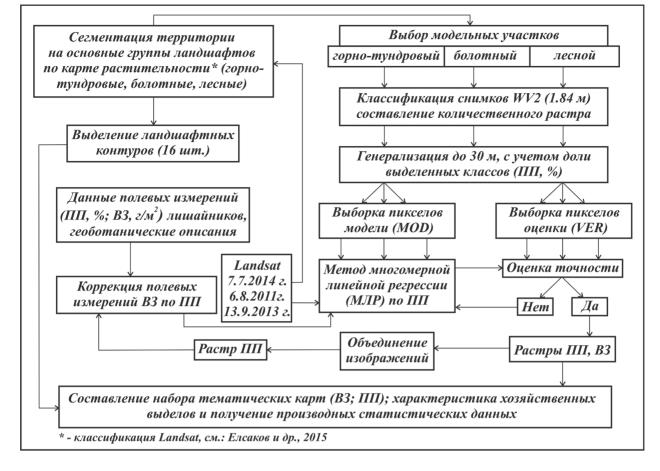


Рис. 1. Блок схема выполнения работы

Методика выполнения работы

Основой для выполнения исследования стали геоботанические описания, ранее построенные тематические карты (Елсаков, Поликарпова, 2015), спутниковые съемки World View 2 и Landsat и материалы сборов фитомассы напочвенных кустистых лишайников, выполненные методом укосов, из доминирующих растительных сообществ заповедника (август 2014 г.). С площадок 0,2х0,2 м, имеющих максимальное покрытие талломами (90–100%), были собраны образцы в трехкратной повторности с последующим взвешиванием воздушно и абсолютно сухих (высушены в течение суток при 60° C) образцов. Полученные значения демонстрировали максимально возможную фитомассу лишайников, которую они способны достичь в условиях данного экотопа.

Значения измеренной массы характеризуют участки, представленные стопроцентным ПП лишайников в пространстве пикселя. Однако такие высокие значения параметров в фитоценозах достаточно редки. Для анализа запасов фитомассы в фитоценозах, различающихся по показателю ПП лишайников, разрабатывали регрессионную модель с привлечением материалов разномасштабной съемки. Территория заповедника целиком покрыта материалами спутниковой съемки Landsat (30 м) и фрагментарно – сценами сверхвысокого разрешения World View 2 (1,84 м). Поэтому разработку, тренировку и проверку точности

модели пространственного распределения показателя ПП лишайников в напочвенном покрове проводили путем сопоставления данных съемок различного разрешения на ключевых участках и последующего использования выявленных связей на всей территории.

Основой для выполнения учета ПП лишайников на модельных участках стали сцены съемки World View 2 (рис. 2а), подготовленные для трех независимых ландшафтных комплексов: горных тундр, болот и лесных территорий. После выполнения управляемой классификации изображения World View 2 (рис. 26) тематический растр переводили в количественный (ПП лишайников, %) с учетом материалов полевых наблюдений. Полученное изображение доводили до разрешения съемки Landsat (30 м) (рис. 26). Массив выборки пикселов по компоненте ПП лишайников делили на две группы с использованием генерации случайных чисел (методом Монте-Карло): выборка для разработки (мод) и верификации (уек) модели. Значения ПП лишайников первой выборки привлекали для установления коррелятивных связей между генерализованным тематическим растром и значениями яркостных характеристик набора каналов (1–5 и 7 для ТМ, 2–7 для ОLI) предварительно радиометрически калиброванных спутниковых изображений Landsat, различных дат съемки (Landsat 8 от 07.07.2014; Landsat TM5 от 06.08.2011 и Landsat 8 от 13.09.2013) при помощи метода многомерной линейной регрессии (МЛР) вида:

$$y = k + \sum_{i=1}^{n} ch_i \cdot a_i,$$

где k — рассчитанный свободный коэффициент, a_i — коэффициент при i-м канале набора снимков (ch_i) , n — общее количество использованных каналов снимков. Коэффициенты линейной регрессии для разработанной модели подбирали с условием достижения наиболее высоких показателей коррелятивных связей проективного покрытия компонент, полученных по материалам World View 2 и набора сцен Landsat.

Оценку сходимости результатов выполняли путем сопоставления значений пикселов верификации ($_{\rm VER}$) и пересчитанного в оценку ПП Landsat. К примеру, для болотных ландшафтов, представленных на территории заповедника комплексами верховых осоково-моховых, сфагновых и пушициевых сообществ, грядово-мочажинными комплексами с кустарничково-лишайниковыми группировками на грядах и осоково-сфагновыми сообществами в мочажинах и мезо- и эвтрофных комплексах, преимущественно травяных, все многообразие классов земного покрытия было описано тремя основными компонентами: участками гряд (с лишайниковым напочвенным покровом), мочажин и водными объектами. Размер выборки пикселов для обучения и верификации составил 1276 пикселей ($n_{\rm MOД}$ = 615, $n_{\rm VER}$ = 661). Уровень сходимости (r^2) для участков гряд с лишайниковым покровом достигал 0,85 (puc. 3), мочажин – 0,75 и зеркал водных объектов – 0,89. Полученную модель привлекали для расчета ПП лишайников на грядах и кочках для всех болотных комплексов территории заповедника. Аналогичные модели готовили для расчета показателя горных тундр и лесных фитоценозов. Сопоставление полученных результатов с ранее подготовленной геоботанической картой (М 1:100000) (Елсаков, Поликарпова, 2015) позволяет оценить ПП напоч-

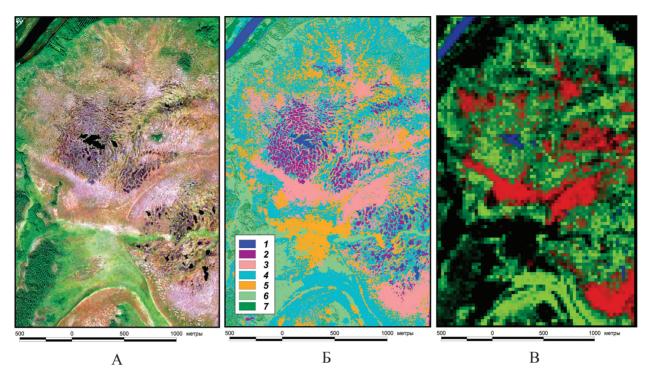
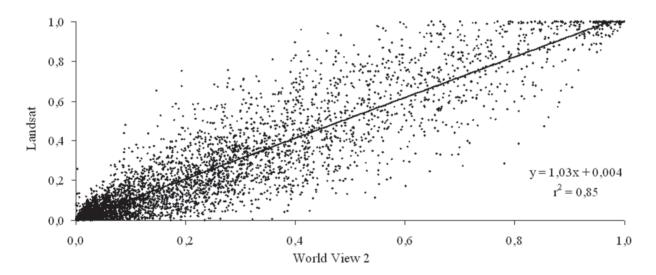


Рис. 2. Обработка материалов съемки World View 2 (2011-08-17 10:09:52, разрешение 1,84 м) тестового участка болотного комплекса (1-ый хозяйственно-ландшафтный выдел). Общий вид участка грядово-мочажинного болотного массива (А); классификация изображения (Б), цифрами обозначены: водные поверхности (1), сфагновые мочажины (2), участки гряд (3), осоково-моховые (4), пушициево-моховые (5), ерниково-моховые (6) сообщества и травяные березняки (7); RGB-изображение отдельных компонент, доведенное до пространственного разрешения 30 м (%) (R – лишайниковые гряды, G – моховые/осоковые мочажины, В – водные поверхности) (В)



Puc. 3. Сходимость спутниковых данных для показателей доли гряд, полученных с использованием World View 2 и Landsat, доведенные до пространственного разрешения 30 м (доли проективного покрытия, %)

венных лишайников в различных фитоценозах. Для класса кустарничково-лишайниковых тундровых сообществ ПП лишайников в среднем составляет порядка 80%; для класса ерниково-моховых сообществ – 40%; для класса густых ерниково-лишайниково-моховых сообществ – 10%. Наибольшие величины отмечены на участках гряд болотных комплексов, в горных кустарничково-лишайниковых тундрах и склоновых лишайниковых сосняках.

Полученные фрагменты изображений ПП разных ландшафтных комплексов объединяли в сводный тематический растр (*puc. 46*). Методы МЛР повторно использовали для подготовки модели распределения ВЗ лишайников по корректированным с учетом величин ПП полевых измерений и объединенным сценам съемки Landsat.

На основании подготовленной геоботанической карты территория заповедника была разделена на 16 ландшафтно-геоботанических выделов со средними размерами 86–1355 га (puc. 4a). Для этих контуров проводили расчет полученных результатов по показателям ПП и ВЗ напочвенных лишайников (puc. 4a, d, e). Результаты стали основой для сравнения с величинами, полученными специалистами ОАО «Мурманское землеустроительное предприятие» традиционными методами (Титов и др., 2015), с привлечением таблиц стандартного хозяйственного запаса кормов, используемых для расчета оленеемкости.

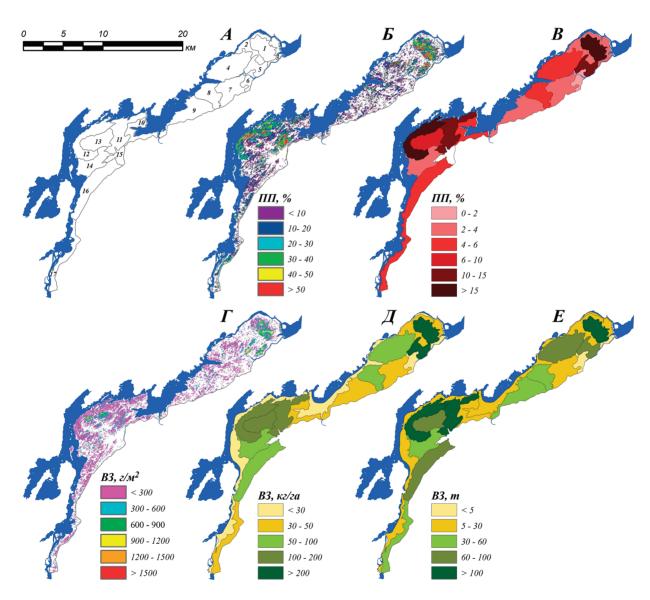


Рис. 4. Ландшафтно-геоботанические выдела с доминированием болотных (1, 2 и 5), горнотундровых (13, 14) и лесных (остальные) сообществ (А). Распределение ПП напочвенных лишайников в фитоценозах заповедника «Пасвик» (Б). Среднее ПП лишайников в пределах выделенных ландшафтно-геоботанических контуров (В). Распределение ВЗ в фитоценозах территории (Г). Средняя плотность ВЗ (Д) и суммарный ВЗ лишайников (Е) для ландшафтно-геоботанических контуров территории

Результаты

Анализ сборов фитомассы лишайников с учетных площадок показал, что наибольшие значения и вариабельность показателя отмечены в лесных светлохвойных сообществах и на участках гряд в грядово-мочажинных комплексах болотных массивов (рис. 5). Основные запасы лишайников представлены преимущественно кладонией лесной (50-100%) и кладонией оленьей (50-98%), в качестве примеси отмечены к. крупнорогая, к. стройная, к. серно-желтая. На заложенных модельных площадках различных сообществ запас фитомассы варьировал от 286,3 \pm 84,7 г/м² (S \pm tS_x p=0,95, n=3) в склоновом кустарничковом сосняке лишайниково-моховом до 1574±644 г/м² на каменных останцах в сосняке кустарничково зеленомошно-лишайниковом. Развитие напочвенных лишайников отмечено и в пределах болотных массивов: на верхних частях бугров грядово-мочажинных болотных комплексов. Суммарные запасы к. лесной (60-70%) и к. оленьей (17-30%) достигали 1225±133 г/м². Для тундровых сообществ основной ВЗ напочвенных лишайников формируют цетрария снежная (до 60–90%), в качестве примеси выступает к. лесная (10–40%) и к. оленья (до 30%). Реже отмечена флавоцетрария клубочковая, алектория черноватая, к. дюймовая и др. Сравнение показателей с ранее выполненными сборами показывает, что запас лишайников малонарушенных участков лесотундровой зоны (на территории басс. р. Фома-Ю, граница РК и НАО) варьировал в сходном диапазоне 1990–1100 г/м² в осоково-лишайниковом и 1560-1642 г/м² в ерниково-мохово лишайниковом сообществах. Поэтому в настоящее время запас лишайников в напочвенном покрове заповедника «Пасвик» на основании анализа учетных площадок может быть охарактеризован как слабо затронутый нагрузкой выпаса.

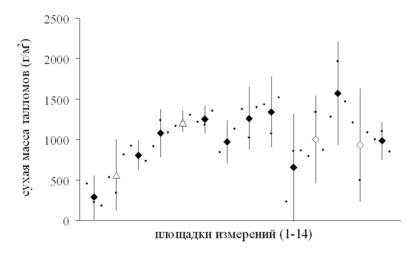


Рис. 5. Масса лишайниковых талломов (сухой вес) в пределах 14-ти площадок измерений (г/м2). Представлены абсолютные величины измерений и рассчитанные средние показатели по участку с доверительными интервалами изменчивости (p=0,95, n=3). Отмечены лесные (\blacklozenge), болотные (Δ), горно-тундровые (\Diamond) фитоценозы

Основные оптические свойства талломов определяются суммарным содержанием хлорофиллов а и b. Проективный запас пигментов лишайниковых фитоценозов низкий, спектры отражения приближены к лишенным растительности почвам и грунтам (Елсаков, Поликарпова, 2015).

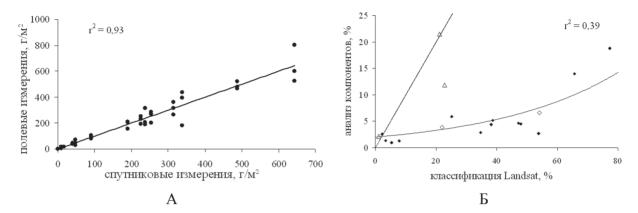


Рис. 6. Сравнительный анализ материалов запаса лишайников по построенной модели и полевым инструментальным наблюдениям (А). Сопоставление площади лишайникового покрова, полученной методом компонентного анализа и классификации растительного покрова Landsat в выделенных ландшафтно-геоботанических контурах (1-17) (Б). Условные обозначения соответствуют рис. 3

Использование модели и картографическое представление результата распределения показателя ПП лишайников по материалам спутниковых съемок позволило существенно скорректировать материалы оценки площадей в выделенных ландшафтно-геоботанических выделах по ранее подготовленной геоботанической карте. Для оценки корректности работы модели полученные данные были сопоставлены с результатами инструментальных измерений, корректированными по ПП геоботанических описаний. Анализ сопоставляемых выборок показал хорошую сходимость: $r^2 = 0.93$ (рис. 6a).

Среднее ПП лишайников в напочвенном покрове по территории составило 6,4% (минимальное в контуре № 18 – 0,9%, максимальное в контуре с доминированием редкостойных сосняков лишайниковых (№ 1 – 21,5%)). Оценка запаса с использованием для расчета только данных классификации (площади отдельных классов растительного покрова) методами управляемой классификации или с использованием пороговых значений, существенно завышали получаемые показатели ПП. Функция связи между полученными разными способами величинами имеет экспоненциальный вид (рис. 66). В меньшей степени различия прослеживались в ландшафтно-геоботанических контурах с низкими показателями ПП лишайников в напочвенном покрове (менее 5%). На участках с доминированием болотных сообществ расхождение между сравниваемыми величинами было минимально – в среднем 1,1 раз (0,5–1,9). Для остальных сообществ использование тематической классификации (карты растительности) для расчета площадных характеристик показывало более высокое ПП напочвенных лишайников: выше в 6,8 раз для горно-тундровых (5,6–8,1) и 8,0 раз для лесных сообществ (2,5–19,8). В среднем отклонение показателя по всем выделам составило 6,3 раза.

Обобщение материалов по рассчитанному ВЗ лишайников (построенному с учетом проективного покрытия) в растительных сообществах территории стало основой для рас-

чета общего запаса лишайниковых кормов (puc. 4z-e). Максимальный запас и плотность (кг/га) и ВЗ (т/по всему контуру) с использованием построенной модели отмечен на участках сосняков лишайниковых. Средняя плотность запаса лишайников на территории всего заповедника оценена в 512 кг/га (минимальная в контуре с доминированием лиственных лесов (N_{\odot} 6 – 20,9 кг/га), максимальная в контуре с доминированием сосняков лишайниковых (№ 12 – 1962 кг/га). Суммарный ВЗ напочвенных лишайников в фитоценозах всей территории заповедника оценен в ходе выполнения работы в 970 т. При нормативе потребления оленем кормовой смеси в количестве 5,35 кг воздушно-сухой массы (Сыроватский, 2000) данный объем соответствует 181,3 тыс. оленесуток. Анализ сходимости результатов, полученных с использованием спутниковых съемок, и данными инветаризационно-геоботанических работ (OAO «Мурманское землеустроительное предприятие») (Пояснительная..., 2014) обнаруживает достаточно хорошую сходимость ($r^2=0.55$) (рис. 7). Исключение составляют выдела с доминированием болотных фитоценозов, не принятых во внимание. Для данных контуров спутниковые оценки дают более высокие значения (в 4,6 раз), традиционные методы в меньшей степени рассматривают участок в качестве доступного для выпаса. Остальные полученные показатели входят в допустимый интервал отклонений (p=0,95, n=16). В большинстве случаев экспертные оценки завышают показатели спутниковых данных, что является следствием использования площадных показателей, полученных при выполнении классификации. Суммарное расхождение между итоговыми показателями составило 18,2%.

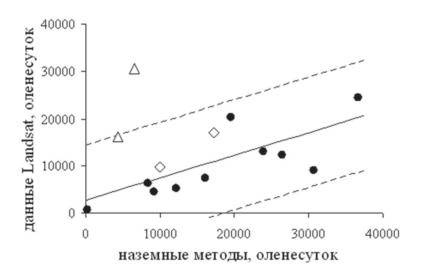


Рис. 7. Анализ сходимости данных по рассчитанной оленеемкости для запаса лишайниковых кормов, полученных по материалам спутниковых оценок (ось ординат) и традиционными методами (абсцисс) y=0.48x+2734; $r^2=0.55$. Условные обозначения соответствуют рис. 3.

В ходе выполненной работы показано, что материалы спектрозональных спутниковых съемок могут быть использованы для расчетов показателей ПП и ВЗ запаса напочвенных лишайников в фитоценозах. Наличие достаточных по объему и точечных координатно привязанных материалов инструментальных измерений в сочетании с методами МЛР позволяют провести анализ распределения ресурсных величин, увеличивают точность измерений и снижают уровень погрешности, связанный с использованием в расчетах только тематических геоботанических карт.

Работа выполнена при поддержке социального проекта «Охрана природы и традиционное природопользование в долине р. Паз и окрестностях ОАО «Кольская ГМК» (2014-2015 гг.), проекта фундаментальных научных исследований УрО РАН «Комплексная оценка наземных и водных экосистем Европейской Арктики» (№ 15-15-4-36).

Литература

- 1. Елсаков В.В. Материалы спутниковых съемок в анализе значений хлорофилльного индекса тундровых фитоценозов // Исследования Земли из космоса. 2013. № 1. С. 60–70.
- Елсаков В.В. Оперативная ресурсная оценка пастбищных угодий северного оленя по спектрозональным спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014а. T. 11. № 1. C. 245–255.
- Елсаков В.В. Технология ресурсной оценки пастбищных угодий северного оленя по спектрозональным спутниковым данным: пат. 2521755 Рос. Федерация // Изобретения. Полезные модели. 2014б. № 19. Елсаков В.В., Володин В.В., Чадин И.Ф., Марущак И.О. Способ оценки распределения и запасов ресурс-
- ных и редких видов растений в пределах крупных территориальных массивов: пат. 2443977 Рос. Федерация // Йзобретения. Полезные модели. 2012. № 6.
- Елсаков В.В., Кулюгина Е.Е. Растительный покров Югорского полуострова в условиях климатических изменений последних десятилетий // Исследования Земли из космоса. 2014. № 3. С. 65–77
- Елсаков В.В., Поликарпова Н.В. Спутниковые методы в анализе изменений запаса лишайников в фитоценозах заповедника «Пасвик» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. T. 12. № 3. C. 87–97.
- Елсаков В.В., Щанов В.М., Беляева Н.В. Спутниковые методы исследований в мониторинге и картировании пастбищных угодий северного оленя // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 2. С. 201–207.
- За зиму на Ямале погибло около ста тысяч оленей // vesti.ru. 23.05.2014. http://www.vesti.ru/doc.html?id= 1610355
- Кряжимский Ф.В., Маклаков К.В., Морозова Л.М., Эктова С.Н. Системный анализ биогеоценозов полуострова Ямал: имитационное моделирование воздействия крупностадного оленеводства на растительный покров // Экология. 2011. № 5. С. 323–333. 10. Морозова Л.М., Магомедова М.А., Эктова С.Н., Дъяченко А.П., Князев М.С. Растительный покров и расти-
- тельные ресурсы Полярного Урала. Екатеринбург: Уральский университет, 2006. 796 с.
- 11. Пояснительная записка к материалам работ по теме: «Расчет оленеёмкости территории Государственного природного заповедника «Пасвик». Мурманск: ООО «Мурманское землеустроительное предприятие», 2014. Č. 20.
- 12. Причина гибели более 150 оленей в СПК «Ижемский оленевод и Ко» может стать ясна к концу следующей недели // Няръяна-Вындер. 2014. 13.05.2014.
- 13. Причинами массового падежа оленей на о. Колгуев стали избыток поголовья и недостаток пастбищ // Няръяна-Вындер. 2014. 14.04.2014.
- 14. Сенокосы и пастбища. Ред. акад. ВАСХНИЛ И.В. Ларин. Л.: Колос, 1969. С. 703.
- 15. Сыроватский Д.И. Организация и экономика оленеводческого производства. Якутск: Ин-т проблем малочисл. народов Севера. 2000. С. 407.
- 16. Титов Е.А., Гладков А.А., Носов С.И., Куракин В.И., Янина В.В., Бондарев Б.Е. Методология комплексной оценки земель территорий традиционной хозяйственной деятельности в зоне северного оленеводства. М.: РГ-Пресс, 2015. 176 с.
- 17. *Colpaert A., Kumpula J.* Detecting changes in the state of reindeer pastures in northernmost Finland, 1995–2005 // Polar Record. 2011. Vol. 48. P. 74–82.
- 18. Falldorf T., Strand O., Panzacchi M., Tømmervik H. Estimating lichen volume and reindeer winter pasture quality from Landsat imagery // Remote Sensing of Environment. 2014. No. 140. P. 573-579.
- Oksanen L., Virtanen R. Topographic, altitudinal and regional patterns in continental and suboceanic heath vegetation of northern Fennoscandia // Acta Bot. Fenn. 1995. Vol. 153. No. 1. P. 1–80.
 Olofsson J., Kitti H., Rautiainen P., Stark S., Oksanen L. Effects of summer grazing by reindeer on composition
- of vegetation, productivity and nitrogen cycling // Ecography. 2001. Vol. 24, Issue I, P. 13–24.
- 21. *Väre H., Ohtonen R., Oksanen J.* Effects of reindeer grazing on under story vegetation in dry Pinus sylvestris forests // Journal of Vegetation Science. 1995. Vol. 6. Issue 4. P. 523–530.

Analysis of projective cover and biomass storage of epigeous lichens in vegetation cover of Pasvik Nature Reserve

V.V. Elsakov¹, V.M. Schanov¹, N.V. Polikarpova²

¹Institute of Biology Komi SC UB RAS, Syktyvkar 167610, Russia E-mail: elsakov@ib.komisc.ru ²Pasvik State Nature Reserve, Rayakosky 184404, Murmansk region, Russia E-mail: polikarpova-pasvik@vandex.ru

The work presents the results of analysis of satellite images of different resolutions (World View 2, Landsat) and instrumental field investigations meant to model projective cover (PC) and total biomass (TB) of ground lichens in vegetation cover of Pasvik Nature Reserve. The models were shaped using multivariate linear regression methods (MLR) in combination with field measurement data. The average PC in the vegetation cover was 6.4% (0.9–21.5%). The PC values of lichens in the reserve obtained by means of the received model were 6.3 times lower than the values calculated using only classes of lichen communities in the Landsat relevant classification. The lowest differences were traced for landscape-geobotanical sites with low representation of lichen classes and low PC of lichens in the ground cover (less than 5%). Sites dominated by mires demonstrated minimal differences between the compared values – avg. 1.1 times (0.5–1.9). For the other types of communities, the use of relevant classification (map of vegetation) for calculation the area values increased the PC of ground lichens by 6.8 times for mountain tundra (5.6–8.1 times) and by 8.0 times for forests (2.5–19.8 times). The obtained results allowed to update and extrapolate the instrumental data to the whole protected territory. The TB model of lichens assessed the total storage of lichen thalli in the communities of the reserve in 970 tons with the average density of 512 kg per ha throughout the territory (20.9–1962 kg per ha). A comparison of the obtained results with independent expert data (using deer capacity value) demonstrated the model's overall underestimation by 18.2%. It highlights the importance of using component analysis methods in quantitative calculations of resource characteristics of phytocoenoses.

Keywords: remote sensing methods, epigeous lichens biomass storage and projective cover, vegetation cover, Pasvik Nature Reserve

> Accepted: 01.03.2017 DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-2-72-83

References

- Elsakov V.V., Materialy sputnikovykh s'emok v analize znachenii khlorofill'nogo indeksa tundrovykh fitotsenozov (The satellite data in chlorophyll index investigation at tundra vegetation communities), Issledovaniya Zemli iz kosmosa, 2013, No. 1, pp. 60–70.
- Elsakov V.V., Operativnaya resursnaya otsenka pastbishchnykh ugodii severnogo olenya po spektrozonal'nym sputnikovym dannym (The technology of on-line resource estimation of reindeer pastures with optical remote sensing data), Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa, 2014, Vol. 11, No. 1,
- pp. 245–255. Elsakov V.V., Tekhnologiya resursnoi otsenki pastbishchnykh ugodii severnogo olenya po spektrozonal'nym sputnikovym dannym: pat. 2521755 Ros. Federaciya (The recourses estimation technology for reindeer pastures
- inventory by remote sensing data: Russian patent 2521755), *Izobreteniya. Poleznye modeli*, 2014, No. 19. Elsakov V.V., Volodin V.V., Chadin I.F., Marushchak I.O., Sposob ocenki raspredelenija i zapasov resursnyh i redkih vidov rastenij v predelah krupnyh territorial'nyh massivov: pat. 2443977 Ros. Federaciya (The estimation
- reakin vidov rastenij v predejan krupnyh territorial nyh massivov: pat. 2443977 Ros. Federaciya (The estimation method of recourses and rare species distribution and storage at large-scale lands: Patent RF 2443977), *Izobreteniya. Poleznye modeli*, 2012, No. 6.

 5. Elsakov V.V., Kulyugina E.E., Rastitel'nyi pokrov Yugorskogo poluostrova v usloviyakh klimaticheskikh izmenenii poslednikh desyatiletii (The vegetation cover of Jygorskii peninsula in climatic fluctuations of last years), *Issledovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, No. 3, pp. 65–77.

 6. Elsakov V.V., Polikarpova N.V., Sputnikovye metody v analize izmenenii zapasa lishainikov v fitotsenozakh zapovednika "Pasvik" (Satellite methods for the analysis of changes in lichen cover in vegetation communities of Pasvik Nature Reserve), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12 No. 3, pp. 87–97
- Vol. 12, No. 3, pp. 87–97.

 7. Elsakov V.V., Shchanov V.M., Belyaeva N.V., Sputnikovye metody issledovanij v monitoringe i kartirovanii pastbishchnyh ugodij severnogo olenja (The satellite data for inventory and monitoring of reindeer pastures at European Russia), Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa, 2011, Vol. 8, No. 2,
- Za zimu na Yamale pogiblo okolo sta tysyach olenei (Near 100 000 reindeers died in Yamal during winter), vesti.ru, 23.05.2014, http://www.vesti.ru/doc.html?id=1610355.
- Kryazhimskii F.V., Maklakov K.V., Morozova L.M., Ektova S.N., Sistemnyi analiz biogeotsenozov poluostrova Yamal: imitatsionnoe modelirovanie vozdeistviya krupnostadnogo olenevodstva na rastitel'nyi pokrov (The system analysis of Yamal peninsula biogeocenoses: simulation technique of reindeer husbandry activity to vegetation cover), *Ekologiya*, 2011, No. 5, pp. 323–333.

- 10. Morozova L.M., Magomedova M.A., Ektova S.N., D"yachenko A.P., Knyazev M.S, *Rastitel'nyi pokrov i rastitel'nye resursy Polyarnogo Urala* (Vegetation cover and vegetation recourses of Polar Ural), Ekaterinburg: Ural'skii universitet, 2006, 796 p.
- 11. Poyasnitel'naya zapiska k materialam rabot po teme: "Raschet oleneemkosti territorii Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika "Pasvik" (The explanatory note to research: "The calculation of reindeer capacity of State reserve "Pasvik" area"), Murmansk: OOO "Murmanskoe zemleustroitel'noe predpriyatie", 2014, 20 p.
- 12. Prichina gibeli bolee 150 olenei v SPK "Izhemskii olenevod i Ko" mozhet stat' yasna k kontsu sleduyushchei nedeli (The reason of the more than 150 reindeers death at "Izhma reindeer herder" may become clear by the end of next week), Nyar"yana-Vynder, 13.05.2014.
- 13. Prichinami massovogo padezha olenej na o. Kolguev stali izbytok pogolov'ja i nedostatok pastbishh (The causes of mass mortality on reindeers at Kolguev island were surplus population and pastures conditions). Nyar"yana-Vynder, 2014, 14.04.2014.
- 14. Senokosy i pastbishcha (Hayfields and pastures), Leningrad: Kolos, 1969, 703 p.
- 15. Syrovatskii D.I., Organizatsiya i ekonomika olenevodcheskogo proizvodstva (The organization and economic of reindeer husbandry industry), Yakutsk: In-t problem malochisl. narodov Severa, 2000, 407 p.
- 16. Titov E.A., Gladkov A.A., Nosov S.I., Kurakin V.I., Yanina V.V., Bondarev B.E., Metodologiya kompleksnoi otsenki zemel' territorii traditsionnoi khozyaistvennoi deyatel'nosti v zone severnogo olenevodstva (The methodology of complex estimation of traditional reindeer husbandry activity lands), Moscow: RG-Press, 2015,
- 17. Colpaert A., Kumpula J., Detecting changes in the state of reindeer pastures in northernmost Finland, 1995–2005, Polar Record, 2011, Vol. 48, pp. 74–82.
- 18. Falldorf T., Strand O., Panzacchi M., Tømmervik H., Estimating lichen volume and reindeer winter pasture quality from Landsat imagery, Remote Sensing of Environment, 2014, No. 140, pp. 573–579.
- Oksanen L., Virtanen R., Topographic, altitudinal and regional patterns in continental and suboceanic heath vegetation of northern Fennoscandia, *Acta Bot. Fenn.*, 1995, Vol. 153, No. 1, pp. 1–80.
 Olofsson J., Kitti H., Rautiainen P., Stark S., Oksanen L., Effects of summer grazing by reindeer on composition
- of vegetation, productivity and nitrogen cycling, Ecography, 2001, Vol. 24, Issue 1, pp. 13–24.
- 21. Väre H., Ohtonen R., Oksanen J., Effects of reindeer grazing on under story vegetation in dry Pinus sylvestris forests, Journal of Vegetation Science, 1995, Vol. 6, Issue 4, pp. 523–530.