

УДК 528.855

М.В. Зимин¹, О.В. Тутубалина², Е.И. Голубева³, Г.У. Рис⁴

МЕТОДИКА НАЗЕМНОГО СПЕКТРОМЕТРИРОВАНИЯ РАСТЕНИЙ АРКТИКИ ДЛЯ ДЕШИФРИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ⁵

Изложена методика наземного спектрометрирования с применением 4-канального спектрометра и многоканального гиперспектрорадиометра, рассмотрены факторы, влияющие на спектральный образ растений, рекомендована методика измерений для создания наземных спектральных библиотек.

Ключевые слова: наземное спектрометрирование, методика измерений, растения Арктики, спектральные библиотеки.

Введение. Растительность Арктики чутко реагирует на изменения условий местопроисрастания, связанные как с влиянием естественных факторов (в частности, климатических трендов, условий увлажнения и т.п.), так и антропогенных (прямое механическое воздействие и косвенное, связанное с загрязнением воздуха, почв и водных объектов). Изменение показателей состояния отдельных видов растений и растительного покрова в целом позволяет использовать их в качестве индикаторов естественных и антропогенных процессов, выраженных в разных значениях спектральной яркости исследуемой поверхности [1—2, 4—6].

Спектральные образы растений и других типов поверхности (почвы, каменистые поверхности, минералы и другие объекты и явления) можно использовать для интерпретации состояния экосистем, отраженного на космических снимках, они необходимы для создания и пополнения библиотек эталонных спектральных образов — справочных баз данных, содержащих значения коэффициента спектральной яркости объектов на земной поверхности, полученные в стандартизированных условиях.

В связи с запуском в 2013 г. российского спутника Ресурс-П с гиперспектральной аппаратурой на борту, а также начатыми ранее белорусско-российскими экспериментами по гиперспектральной съемке с борта Международной космической станции (МКС) задачи по созданию библиотек спектральных образов различных поверхностей становятся все более востребованными.

Сотрудники географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова выполняют работы по проекту «Геоинформационно-картографические техно-

логии интеграции и обработки данных наземного и аэрокосмического зондирования, карт и баз геоданных на геопорталах для обеспечения исследований окружающей среды» (2013—2015). В рамках реализации этого проекта планируется создание пилотного варианта онлайн-базы данных наземных гиперспектральных и многоканальных спектрометрических измерений, объединенных в единую систему с материалами дистанционного зондирования проекта «Геопортал МГУ» [3]. Система будет ориентирована на подбор данных для выполнения разнообразных географических исследований в соответствии с поставленными задачами. В качестве пилотной выбрана территория Кольского полуострова.

Постановка проблемы. Космические снимки, особенно высокого и сверхвысокого пространственного разрешения, находят все более широкое применение для выявления особенностей подстилающей поверхности, главным образом растительности (ее состояние, динамика и продуктивность), а также горных пород на участках, лишенных растительного покрова. Близкие по методологии исследования [7] в настоящее время проводятся международными группами исследователей, реализующими подход спектрономии — количественного определения физических и химических параметров объектов на поверхности Земли по их спектральным отражательным свойствам. Примером могут быть результаты проекта «Спектрономика» Института Карнеги (<http://spectranomics.stanford.edu/>), посвященного исследованию тропических лесов.

Цель работы — анализ возможностей и ограничений использования методов наземного спектрометрирования для дешифрирования космических снимков

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики, ст. науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail*: zimimv@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики, вед. науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail*: olgatut@mail.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра рационального природопользования, проф., докт. биол. н.; *e-mail*: egolubeva@gmail.com

⁴ Институт полярных исследований имени Р. Скотта, Кембриджский университет, Великобритания, старший преподаватель, PhD; *e-mail*: wgr2@cam.ac.uk

⁵ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант офп 13-05-12061).

и создания библиотек спектральных образов растений Арктики. Были поставлены следующие задачи: 1) сравнительный анализ разных методов измерения образцов растений; 2) рассмотрение влияния условий измерения на спектральные образы исследуемых растений; 3) выявление связи между особенностями образцов и их спектральными образами (разные виды растений, их возраст, состояние, различия условий местообитания и др.).

Материалы и методы исследования. Описание района исследований. Исследования проводились в центральной части Кольского п-ова — от г. Мончегорск до г. Полярные Зори, причем как в условиях техногенного воздействия комбината «Североникель» (г. Мончегорск), так и на фоновых территориях (в Хибинском горном массиве и равнинных северотаежных ландшафтах в окрестностях г. Полярные Зори). Изучали растения северотаежных лесов, пояса березового криволесья и горных мохово-лишайниковых и кустарничковых тундр. Для формирования базы данных спектральных образов растений и сравнительного анализа возможностей разных приборов отражательную способность растений измеряли спектрометрами «SpectroSense2+» и гиперспектрорадиометрами «FieldSpec 3 Hi-Res» (приобретен по Программе развития МГУ до 2020 г.).

Приборная база. Гиперспектрорадиометр «FieldSpec 3 Hi-Res» предназначен для измерения абсолютных и относительных значений энергетической яркости в диапазоне 350—2500 нм. В нем совмещены три отдельных спектрометра: первый — 350—1000 нм (видимый и ближний инфракрасный диапазоны) со спектральной разрешающей способностью 3 нм (определяемой как ширина передаточной функции прибора на 1/2 от максимального уровня сигнала на конкретной длине волны) и шагом сканирования 1,4 нм; второй — 900—1850 и третий — 1700—2500 нм (коротковолновый инфракрасный) с разрешением 10 нм и шагом 2 нм. Файл измерений представляет данные с шагом 1 нм. Непосредственно световой энергетический сигнал фиксируется оптоволоконным кабелем, имеющим по 19 приемных волокон для каждого из трех спектрометров. Разный режим измерений (яркость, освещенность, пропускание и др.) обеспечивается специальными насадками, закрепленными на выходном конце кабеля. Перед началом любых измерений прибор оптимизируется под конкретные условия измерений. В этот процесс входит автоматизированный расчет значений приборных настроек и погрешностей. При дальнейших работах обязательны регулярные измерения отражательной панели с известными физическими характеристиками, что необходимо для пересчета данных из относительных единиц в абсолютные. Случайные погрешности исключаются набором ряда независимых спектров (их число устанавливается пользователем и варьируется от 1 до 32 000) и расчетом их среднего, которое и записывается при

сохранении измерения. Кроме того, при работе с прибором регулярно измеряются показатели темнового тока самого прибора, чтобы исключить его электромагнитный «шум». Управление измерениями ведется в программном пакете RS3. Для дальнейшей работы с поступающими с гиперспектрорадиометра данными использован программный пакет ViewSpec Pro (разработка компании ASD Inc.).

Наряду с гиперспектрорадиометром для оценки возможностей дешифрирования объектов по космическим снимкам с аналогичными спектральными зонами использован 4-канальный спектрометр «SpectroSense2+». Этим спектрометром дополнительно измеряли суточную динамику отражательных свойств и устанавливали влияние влажности образцов на их спектральный образ. Спектральные характеристики изучаемого объекта измеряются 4-канальным сенсором, направленным вертикально вниз с углом зрения 25°. Так как освещение снимаемой поверхности обеспечивается не постоянным по интенсивности источником, а меняющейся во времени прямой и рассеянной солнечной радиацией, то для ее учета и нормализации полученных данных синхронно ведется съемка вторым сенсором, направленным вверх и закрытым молочным рассеивающим стеклом, что позволяет регистрировать падающее излучение в пределах полусферы с углом зрения 180°.

Каждый сенсор имеет 4 канала съемки с известными характеристиками. Они устанавливаются при заводской калибровке, погрешность их определения составляет не более 5%. Измерения проводятся для каждого канала путем преобразования энергии фотонов, попадающих на регистрирующий элемент, в электрический сигнал. Поэтому выходные данные имеют размерность $\text{мкмоль} \cdot \text{с}/\text{м}^2$ (т.е. число фотонов в единицу времени с единицы площади). Настройка, выбор режима работы, управление прибором, измерение и запись данных обеспечиваются контроллером «SpectroSense2+» со специальным программным обеспечением. Контроллер также хранит сведения о значениях приборных калибровочных коэффициентов. Совместно с данными для коррекции за колебания освещенности (от верхнего сенсора) это обеспечивает возможность получать непосредственно с прибора нормализованные отсчеты. Контроллером можно управлять с персонального компьютера с помощью программы SpectroSense2+ Data Offload and Setup Software, которая позволяет скачивать накопленные во внутренней памяти контроллера измерения, определять рабочие сенсоры и изменять их параметры, просматривать и изменять рабочие настройки контроллера. Данные, полученные в формате *.txt, можно обрабатывать в любом стандартном редакторе таблиц.

Объекты исследований. Отбор образцов растений (деревья, кустарники, кустарнички, травянистые растения, мхи и лишайники) для получения их спектральных образов выполнен в разных условиях: ненарушен-

ный лес, техногенная пустошь на месте леса, ненарушенные тундровые сообщества. Выбраны максимально представительные для местной флоры растения.

Методы исследований. Контактные измерения гиперспектрорадиометром «FieldSpec 3 Hi-Res» с насадками «Plant Probe», «Leaf Clip» проводили отдельно для зеленых частей одного растения в разном состоянии, если его было можно выделить. Поэтому перед началом измерений часть образцов разбирали на составляющие фракции на основе цветового состояния по возрастным категориям (не более трех). Размеры поверхности одного элемента получаемых проб сильно варьировали — от покрывающих всю требуемую площадь (около 3 см²) одним листом (*Betula pubescens*; *B. tortuosa*) до нескольких миллиметров (*Empetrum hermaphroditum* Hage).

Для получения осредненных, статистически достоверных спектральных образов для одного вида (или его фракции), взятого в определенных условиях, образец этого вида измеряли 5 раз для исключения влияния случайных приборных погрешностей, для каждой фракции усредняли ряд из 64 независимых циклов измерений. Для повышения точности нормализации полученных данных белая калибровочная панель измерялась 2 раза — до и после измерения образца. Всего обработано 190 образцов, включавших 21 вид растений и их фракций. Файлы (*.asd), полученные в программе RS3, экспортировали в текстовый формат с помощью программы ViewSpec Pro. Затем для каждого образца рассчитывали нормализованный спектральный образ — медианное значение из 5 измерений (отдельно для каждой длины волны) делили на среднее арифметическое из 2 измерений панелей. Для контроля рассчитывали погрешность полученного спектра в квантилях.

Виды измерений:

— лабораторные измерения гиперспектрорадиометром листьев березы извилистой (*Betula pubescens*; *B. tortuosa*), произрастающей в естественных условиях и в зоне аэротехногенного воздействия комбината «Североникель», листья собраны по трансекте на юг от г. Мончегорск (протяженность 30 км);

— полевые сопряженные измерения гиперспектрорадиометром в разном режиме измерений (контактно, бесконтактно) и 4-канальным спектрометром растений, произрастающих в естественных условиях в Хибинских горах, — лишайников (*Cetraria islandica* (L.) Ach., *Flavocetraria nivalis* (L.) Karnef. Thell (*Cetraria nivalis*), *Alectoria ochroleuca* (Haffm.) Masal., *Cladonia arbuscula* (Wellr.), *Cladonia mitis*), мхов (*Hypnum splendens*, *Pleurozium Shreberi*), кустарничков (*Betula nana*, *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*, *V. myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *Empetrum hermaphroditum* Hage), а также травянистых растений (*Avenella flexuosa*, *Juncus trifidus*);

— лабораторные измерения гиперспектрорадиометром образцов одного вида растений, имеющих раз-

ные возраст и состояние (*Empetrum hermaphroditum* Hage, *Picea abies*, *Avenella flexuosa*, *Betula pubescens*; *B. tortuosa*);

— полевые суточные измерения динамики спектральных свойств северной растительности с помощью неподвижно закрепленного 4-канального спектрометра, в условиях сплошной облачности и в условиях ясной погоды;

— измерения отражательной способности лишайников (*Cetraria nivalis* и *Cetraria islandica*) в связи с их искусственным увлажнением. Серия бесконтактных измерений проводилась гиперспектрорадиометром и 4-канальным спектрометром, синхронизированными на неподвижной платформе, в условиях естественного освещения;

— лабораторные измерения индекса листовой поверхности *Betula pubescens* и *B. tortuosa* проводили гиперспектральным прибором контактным методом путем последовательного складывания отдельных листьев (от 1 до 5). Кроме того, для этого вида выполнены единичные измерения отраженной, пропускаемой и поглощенной энергии.

Результаты исследований и их обсуждение. Основная гипотеза исследований состоит в том, что в спектральном образе растений и растительности в целом в качестве индикатора экологического состояния экосистем будут качественно и количественно отражаться характер и степень техногенного воздействия, содержание влаги, фенологическое состояние, условия произрастания, а также освещенность и другие факторы.

Влияние техногенного воздействия на спектральный образ березы извилистой (*Betula pubescens* Ehrh s.l., *B. tortuosa*). Для проверки этой гипотезы вдоль градиента загрязнения выбросами с комбината «Североникель» (г. Мончегорск) и с учетом ветрового режима проведены измерения вдоль трансекта, исследования на котором проводятся в течение ряда лет. Постоянные пробные площадки вдоль трансекта дополнительно пронумерованы в соответствии с километровыми столбами вдоль шоссе Санкт-Петербург — Мурманск, что удобно для привязки и позволяет провести повторные перспективные исследования. Для получения спектральных образов листьев березы извилистой (*Betula pubescens*; *B. tortuosa*) взяты образцы, находящиеся в разном состоянии в зависимости от степени техногенного воздействия на них выбросов комбината «Североникель» на расстоянии 1—30 км в южном направлении. На каждой пробной площадке собраны листья березы с 15 модельных деревьев в 3-кратной повторности для спектрометрирования в лабораторных условиях.

Полученные кривые спектральной яркости листьев березы извилистой в условиях техногенного воздействия, которое хорошо индицируется по морфологическим признакам (наличию хлороза и некроза

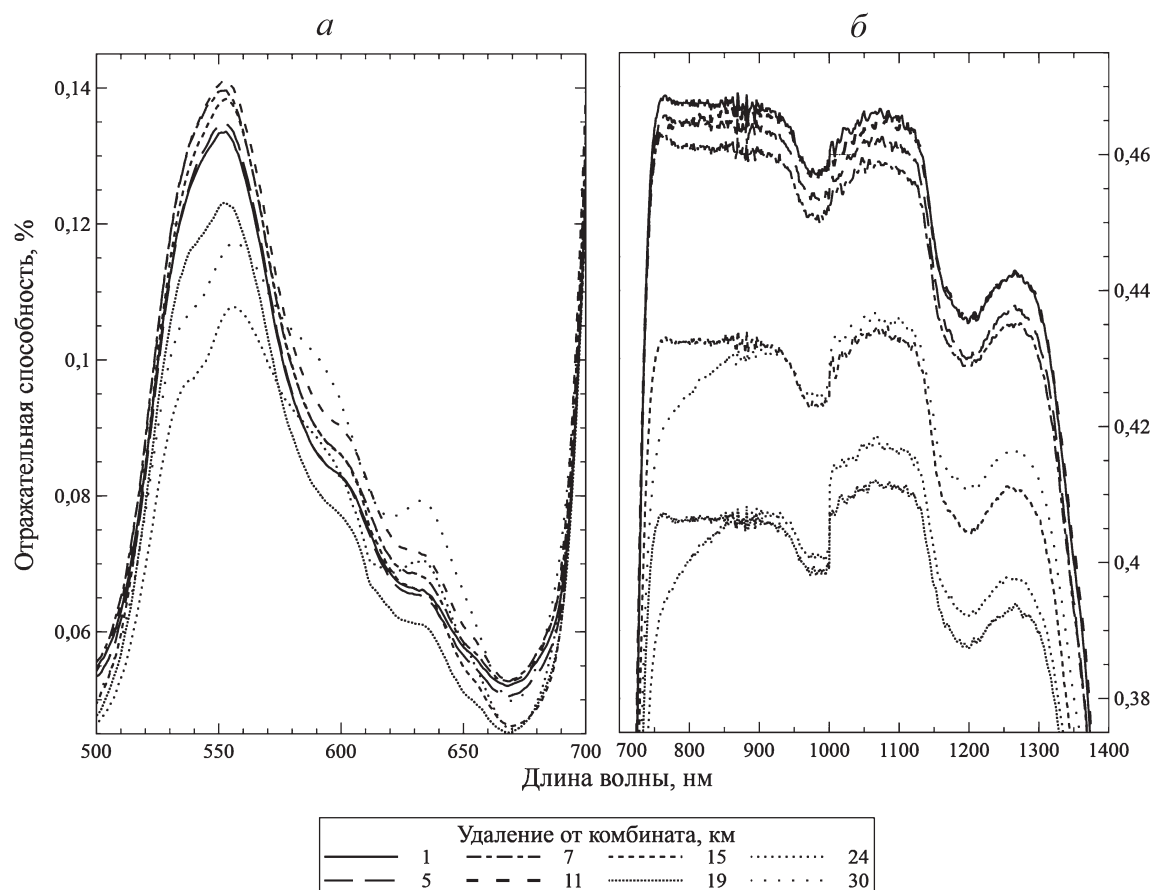


Рис. 1. Спектральные свойства листьев березы: *a* — *Betula pubescens*, *б* — *B. tortuosa* (без биогенных патологий), на разном расстоянии от комбината «Североникель»

на листовой пластинке), достаточно четко различаются в разных диапазонах длины волн (рис. 1).

Так, в спектральных образах березы извилистой, измеренных в диапазоне 750—1350 нм на площадках, по мере удаления от комбината «Североникель» наблюдается неоднозначная картина — отражательная способность листьев уменьшается по мере удаления от комбината, хотя ожидался противоположный эффект. Это может быть вызвано следующими факторами: орографическими особенностями территории и ветровым режимом, которые создают сложное распределение загрязняющих веществ на местности, что подтверждается наземными геохимическими исследованиями; стимулированием роста березы в начальной фазе вегетационного периода (момент отбора образцов) при повышенном уровне загрязнения. Наряду с этим можно отметить значительные различия отражательной способности листьев по трансекте в диапазоне 530—670 нм, но без четкой зависимости по мере удаления от комбината.

Влияние видовых особенностей и условий среды на спектральный образ. Для выявления видовой специфики растений и особенностей условий среды проведены различные виды спектрометрирования — совмещенные измерения двумя приборами разных видов растений (рис. 2) при разных влажности образцов

(рис. 3), возрасте, состоянии и в разных местообитаниях (рис. 4).

Существенные различия спектральных образов растительности Арктики (рис. 2) позволяют говорить о возможности интерпретировать их по материалам дистанционного зондирования, причем даже на уровне степени участия отдельного вида в формировании результирующей яркости пикселя. На графике, приведенном на рис. 2, видно, что даже близкие по цветовым характеристикам виды (разные лишайники) довольно хорошо дифференцируются по спектральным образам, причем это прослеживается как по результатам 4-канальных, так и гиперспектральных измерений. Корреляция между 4-канальными и гиперспектральными измерениями одних и тех же видов довольно высокая, что позволит в дальнейшем использовать эти и аналогичные данные для создания спектральных библиотек.

Исследование влияния содержания влаги на спектральный образ растения выполнены для двух лишайников — светлой (*Cetraria nivalis*) и темной окраски (*Cetraria islandica*), спектральные образы которых измерены в трех состояниях — сухом (естественном), среднеувлажненном и сильноувлажненном (рис. 3). Наблюдения проводились синхронно гиперспектральным и 4-канальным спектрометрами, а также сопро-

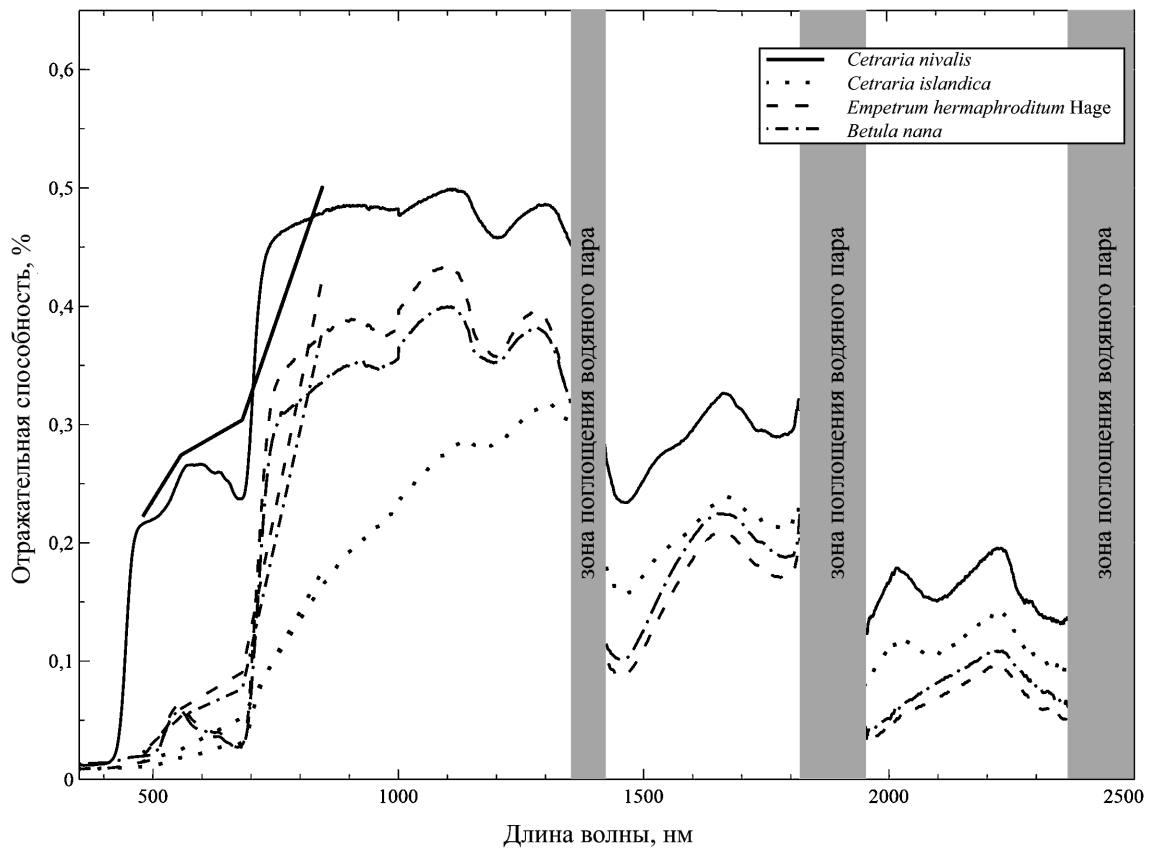


Рис. 2. Спектральные образы разных видов растений, совмещенные кривые значений коэффициента спектральной яркости, полученные с помощью 4-канального спектрометра и гиперспектрорадиометра

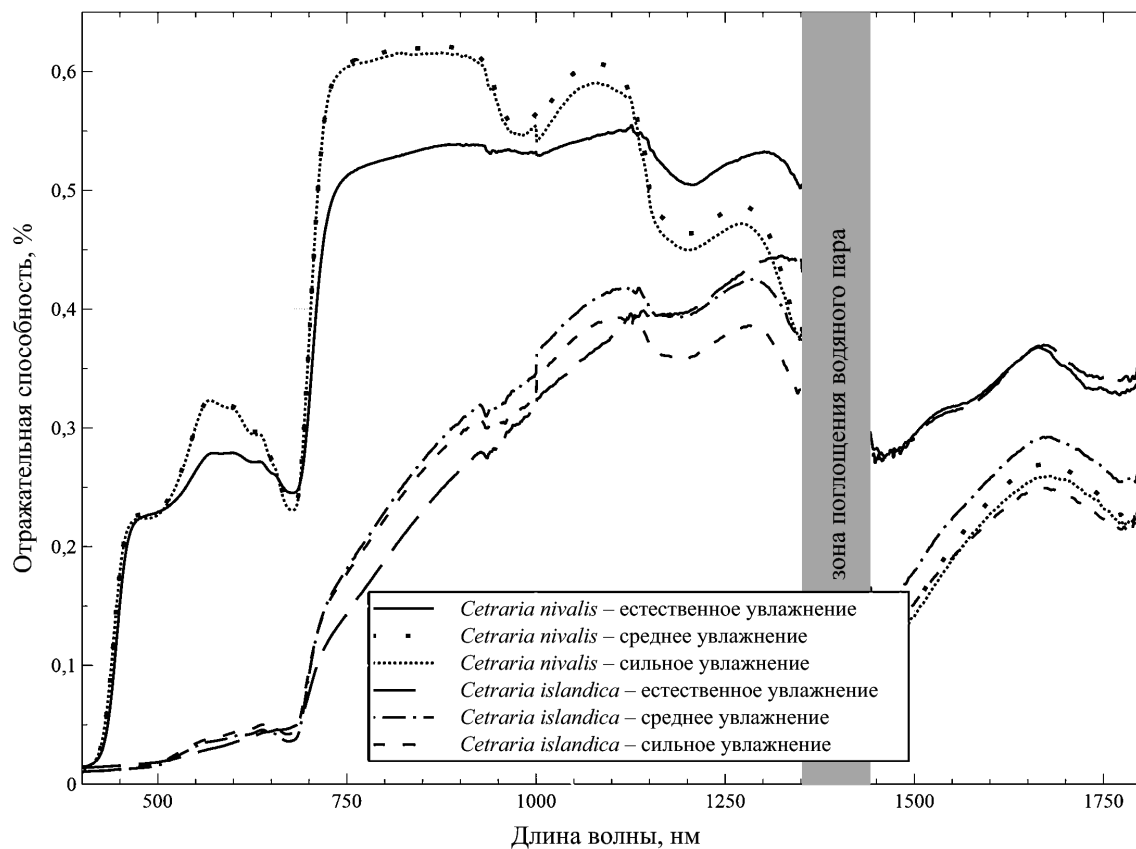


Рис. 3. Влияние увлажнения образцов на спектральный образ растения на примере лишайников *Cetraria nivalis* и *Cetraria islandica*

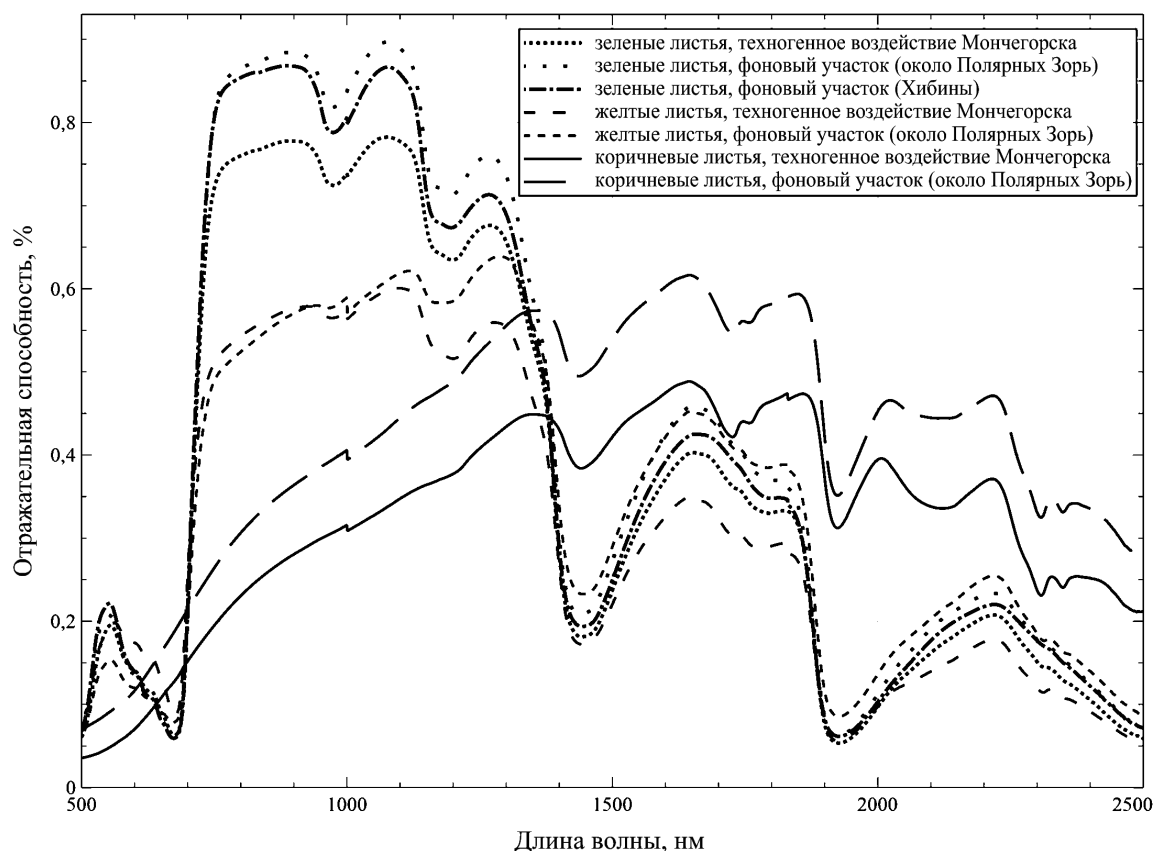


Рис. 4. Возрастные различия и отличия в местообитании на примере шикши *Empetrum hermaphroditum* Hage

вождались фиксацией затраченного на увлажнение объема воды (по градуированной емкости) и массы образцов в каждом состоянии до и после измерений (на лабораторных весах с точностью до 0,01 г).

Полученные результаты в значительной степени меняют представления об отражательной способности изучаемых видов лишайников в разных условиях увлажнения. Это связано с тем, что отражательная способность увлажненных лишайников имеет более высокие значения в ближнем инфракрасном диапазоне, чем у неувлажненных лишайников, особенно это видно на спектрах *Cetraria nivalis*. Этот факт противоречит теоретическим представлениям о том, что наиболее увлажненные объекты (водные и т.д.) сильно или полностью поглощают излучение в ближнем инфракрасном диапазоне. Подобное явление может быть связано со способом увлажнения лишайников, а именно с распылением, в результате которого мельчайшие капли воды концентрируются на поверхности лишайников без впитывания. Отметим, что увлажнение происходило в два этапа, но даже по окончании второго характер спектрального образа *Cetraria nivalis* не изменился, но для вида *Cetraria islandica* по мере увеличения длины волны (в пределах ближнего инфракрасного диапазона) он изменялся в сторону увеличения поглощения электромагнитного излучения. Природу этого явления еще предстоит изучить, но уже сейчас ясно, что использование гиперспектральных прибо-

ров позволяет довольно тонко интерпретировать увлажнение разных видов лишайников, причем можно различать степень вымокания растений и наличие поверхностного увлажнения.

Спектральные различия по возрасту и состоянию изучали для следующих видов: *Betula pubescens*, *B. tortuosa*, *Vaccinium uliginosum*, *Empetrum hermaphroditum* Hage, *Picea abies*, *Avenella flexuosa*. Образцы собраны с учетом их географического положения, возраста, морфологии (верхушка, ветки у основания) и состояния. Как уже отмечалось, перед началом измерений часть образцов была разобрана на фракции, которые выделялись по возрастным категориям. Исследования показали, что различия в возрасте и местообитании одних и тех же видов надежно интерпретируются по их спектральным образам. Спектральные образы в пределах каждого класса возраста достаточно схожи, а при их группировке и осреднении могут быть использованы для создания спектральных библиотек. Это хорошо видно на примере вида *Empetrum hermaphroditum* Hage, у которого классы возраста четко выделяются (листья текущего года зеленые; прошлогодние листья желтые, а старые листья бурые), несмотря на разные местообитания (рис. 4). Схожие закономерности характерны также для исследованных нами *Picea abies*, *Avenella flexuosa*.

Для видов, у которых выделение возрастных классов затруднено или невозможно, при установлении

различий в их спектральных образах на первый план выходят местообитания. Например, вид *Vaccinium uliginosum* характеризуется более высокой отражательной способностью в лесных местообитаниях по сравнению с открытыми площадками.

Данные экспериментов по измерению листьев *Betula pubescens*, *B. tortuosa* показали, что существуют значительные различия в их отражательной способности в зависимости от возраста, местоположения, а также от структурных особенностей размещения образцов (верхушки и основания крон). Выявление закономерностей отражательной способности этого вида — задача предстоящих работ, хотя о некоторых особенностях можно сделать выводы уже сейчас. Так, данные эксперимента (рис. 5) по изучению индекса листовой поверхности показали, что при последовательном наложении четырех и более листьев березы их спектральные образы практически не меняются. Результаты эксперимента можно использовать для оценки индекса листовой поверхности этого вида.

Кроме того, была проведена серия дополнительных экспериментов, направленных на выявление особенностей проведения работ. Установлено, что суточные вариации коэффициента спектральной яркости полярным летом значительны в ясную погоду (до 50%) (измерения лучше проводить с 11 до 18 ч.), тогда как при сплошной облачности суточные вариации коэффициента спектральной яркости полярным летом минимальны (~10%). Полевые бесконтактные измерения арктических растений гиперспектрорадиометром возможны, но требуют тщательного контроля за стабиль-

ностью режима освещения. Влияние переотражения от ярких объектов вблизи поля зрения спектрометра значимо, если их высота сопоставима или превышает высоту прибора.

Выводы:

— многолетние исследования свидетельствуют о способности растительности избирательно отражать падающую солнечную радиацию в зависимости от ее видового состава и состояния растений. Изучение космических снимков высокого и сверхвысокого разрешения, а также гиперспектральных снимков требует адекватного уровня точности наземных измерений, которые лежат в основе интерпретации снимков;

— анализ возможностей и ограничений использования методов наземного спектрометрирования для дешифрирования космических снимков и создания библиотек спектральных образов арктических растений позволил установить: 1) по кривым спектральной яркости можно различать основные дешифрируемые объекты: виды деревьев, кустарничков, мхов, лишайников и травянистых растений; 2) измерения 4-канальным и гиперспектральным спектрометрами дают очень близкие значения коэффициента спектральной яркости одних и тех же образцов (с калибровкой по одной панели);

— использование 4-канального спектрометра позволяет решать ряд научных и практических задач, но гиперспектральные данные, полученные при помощи гиперспектрорадиометра, дают новую дополнительную информацию в ближней и средней инфракрас-

ной частях спектра, интерпретация которой требует дополнительных исследований;

— при измерениях коэффициента спектральной яркости листьев березы четко индицируются хлорозы и некрозы, даже при поражении их малой части;

— экспериментальные измерения показывают, что увлажнение образцов лишайников может действовать неоднозначно (как повышать, так и понижать значения их коэффициента спектральной яркости). Вероятно, это определяется характером отражения от капель воды на поверхности образца;

— влияние видовых особенностей и условий местообитания четко отражается в спектральном образе разных видов арктических растений.

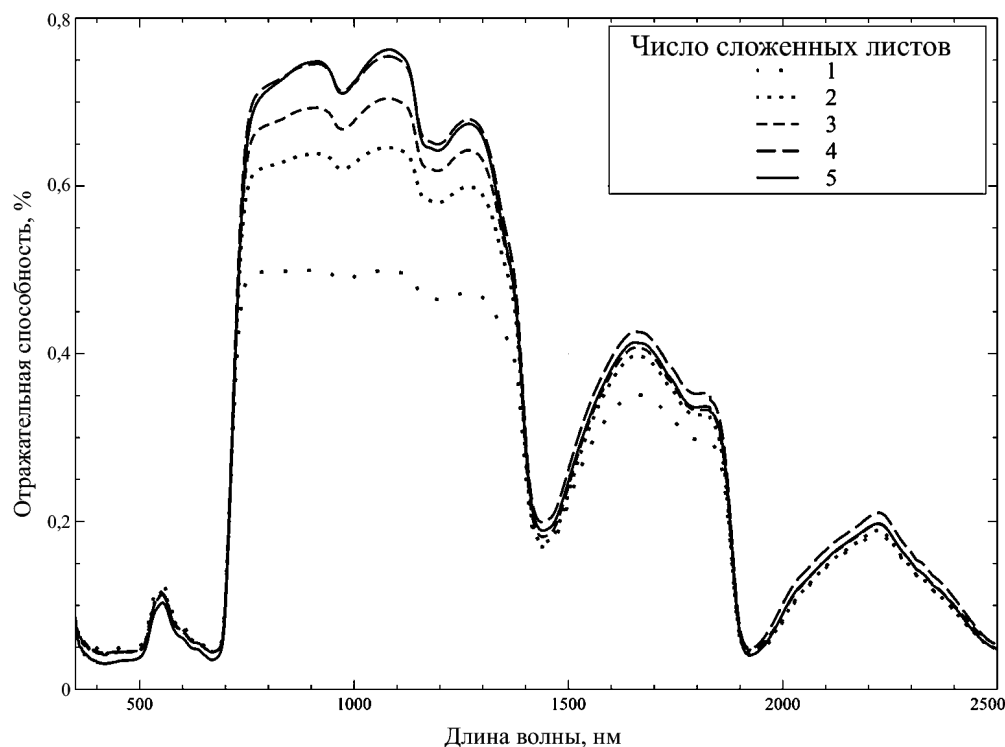


Рис. 5. Отражательная способность листовой поверхности *Betula pubescens* Ehrh s.l., *B. tortuosa* в связи с изменением числа измеренных листьев

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аэрокосмические методы географических исследований / Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В.: Учебник. 2-е изд. М.: Академия, 2011. 416 с.
2. Голубева Е.И., Говорова А.Ф. Механизмы повреждения и адаптации растений на разных уровнях их организации при техногенном воздействии // Изв. РАН. Сер. геогр. 2006. № 1. С. 95—100.
3. Зимин М.В., Тутубалина О.В. Геопортал МГУ: история, результаты, перспективы развития // Земля из космоса — наиболее эффективные решения. 2012. № 14. С. 54—61.
4. Михеева А.И. Пространственная изменчивость положения верхней границы леса в Хибинах (по материалам дистанционного зондирования) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2010. № 4. С. 18—22.
5. Чандра А.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. М.: Техносфера, 2008. 312 с.
6. Экология Севера: дистанционные методы изучения нарушенных экосистем (на примере Кольского полуострова) / Под ред. А.П. Капицы, У.Г. Риса. М.: Научный мир. 2003. 248 с.
7. Asner G., Martin R. Spectral and chemical analysis of tropical forests: Scaling from leaf to canopy levels // Remote Sensing of Environment. 2008. Vol. 112, Iss. 10. P. 3958—3970.

Поступила в редакцию
19.02.2014

M.V. Zimin, O.V. Tutubalina, E.I. Golubeva, G.U. Rees

**GROUND SPECTROMETRY OF ARCTIC PLANTS
FOR THE INTERPRETATION OF SPACE IMAGERY**

Technique of ground spectroradiometry using a four-channel spectrometer and a multi-channel hyperspectroradiometer is described. The factors influencing spectral signatures of plants are analyzed. The technique of measurements for the creation of terrestrial spectral libraries is suggested.

Key words: ground spectroradiometry, measurement technique, Arctic plants, spectral libraries.