

ИЗУЧЕНИЕ СВЯЗИ ЗАПЫЛЕННОСТИ СНЕГА С ЕГО СПЕКТРАЛЬНОЙ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ

© 2010 О.А. Чепелев¹, О.М. Ломиворотова², П.А. Украинский², Э.А. Терехин²

¹ Федерально-региональный центр аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов

² Белгородский государственный университет

Поступила в редакцию 11.05.2010

Работа посвящена проблематике использования снежного покрова в качестве индикатора интенсивности аэротехногенной нагрузки. В статье рассматриваются вопросы запыленности снега вблизи автомагистралей и ее влияния на спектральную отражательную способность снежного покрова. По эмпирическим данным для одной из центральных улиц г. Белгорода определена связь содержания частиц в талой снеговой воде с удаленностью от автомагистрали. Получены кривые спектральной яркости снега с различным уровнем запыленности. Данные исследований позволили сделать выводы о перспективности дистанционного изучения спектральных свойств снежного покрова для определения уровня аэротехногенной нагрузки в промышленных центрах.

Ключевые слова: *запыленность снега, дистанционное зондирование, отражательная способность снега*

Запыление снежного покрова является достаточно информативным показателем интенсивности аэротехногенной нагрузки, т.к. снег покрывает значительные по площади территории, что дает возможность отслеживания пространственной картины загрязнения. Оценка состояния снежного покрова успешно используется для мониторинга аэрозольного загрязнения атмосферы [1, 6, 7]. Спектральная отражательная способность чистого свежеснежавшего снега хорошо изучена [4, 2], что создает важную методическую основу для сопряженного использования методов прямого и дистанционного исследования запыленности снега. Большинство работ отечественных и зарубежных ученых посвящено исследованию процессов снеготаяния и определению снеготаяния по данным спутниковых радиометров MODIS, обладающих высоким спектральным разрешением и большим количеством каналов [5, 13, 14, 16]. Данные радиометра MODIS характеризуются низким пространственным разрешением (250-1000 м.), что не позволяет получить достаточно детальные снимки для изучения состояния снежного покрова в городах, межгорных котловинах и иных, ограниченных по площади территориях. В этом случае большой эффект дает применение данных многозональной космической съемки высокого разрешения, наиболее доступными из которых являются снимки со спутников серии Landsat [3, 12, 17].

Для выделения ареалов с различными свойствами снежного покрова по космическим снимкам применяются результаты полевых спектрометрических исследований, позволяющие разделять снег по цветности [11, 15], и достаточно большой перечень спектральных индексов (NDVI, NDSI, NDWI), избирательно чувствительных к содержанию воды в снеге, уровню запыленности, плотности и другим характеристикам [3, 18]. Отдельно следует упомянуть о направлении, связанном с применением цифровых моделей рельефа для устранения влияния неровностей поверхности на освещенность снега, а также для расчета устойчивости снежной массы [10]. Таким образом, существующие методические наработки позволяют выявлять пространственные неоднородности снежного покрова и на качественном уровне оценивать степень запыленности снега для горизонтальных и наклонных поверхностей. Для количественного определения интенсивности осаждения частиц на поверхность снега по данным дистанционного зондирования Земли необходимы сведения о связи уровня запыленности со спектральной отражательной способностью заснеженной поверхности. Эти данные можно получить, не проводя масштабных исследований, используя в качестве модельного объекта крупные транспортные развязки. Как правило, для них характерны понижение уровня запыленности снега с увеличением расстояния от проезжей части и значительные площади озеленения с ненарушенным снежным покровом. Запыление снега вблизи автомагистралей связано с несколькими причинами: рассыпкой противогололедных смесей, выделением сажи автотранспортом, сдуванием пыли с поверхности транспортных средств и

Чепелев Олег Анатольевич, кандидат географических наук, начальник отдела геоинформатики. E-mail: chepelev@bsu.edu.ru

*Ломиворотова Ольга Михайловна, студентка
Украинский Павел Александрович, аспирант
Терехин Эдгар Аркадьевич, аспирант*

подъемом твердых частиц с дорожного покрытия.

Цель работы: выявление различий в спектральной отражательной способности для снега с разным количеством твердых частиц.

Для достижения цели исследования решались следующие задачи:

1. Изучить интенсивность осаждения твердых частиц на поверхность снега вблизи автомагистрали.

2. Провести полевые радиометрические исследования для площадок с различным уровнем запыленности снега.

3. Выявить различия в кривых спектральной яркости (КСЯ) снежного покрова для площадок, находящихся на различном удалении от автомагистрали.

Материалы и методы исследований.

Полевые работы по изучению запыленности снега проводилось 19 февраля 2010 г. на тестовом участке автомагистрали Москва-Симферополь в центральной части г. Белгород,

у транспортной развязки на просп. Богдана Хмельницкого (рис. 1). По данным Регионального центра экологического мониторинга БелГУ через перекрестки просп. Б. Хмельницкого в утренние часы пик (8.00-9.00) проходит более 8500 единиц транспортных средств, что создает условия для локального запыления воздуха и, соответственно, загрязнения снежного покрова осаждающимися частицами. Усредненные пробы снега отбирались металлическим цилиндром методом конверта со стороной 50 см на различном удалении от проезжей части, при этом отбор производился на глубину снега, выпавшего в период последнего снегопада (т.е. до наста). По данным метеосводок установлено, что до проведения полевых работ снегопадов не наблюдалось в течение трех суток. Таким образом, время экспонирования снега составило не более 72 часов. Привязка точек опробования осуществлялась при помощи GPS-приемника картографического класса Topcon GMS-2.

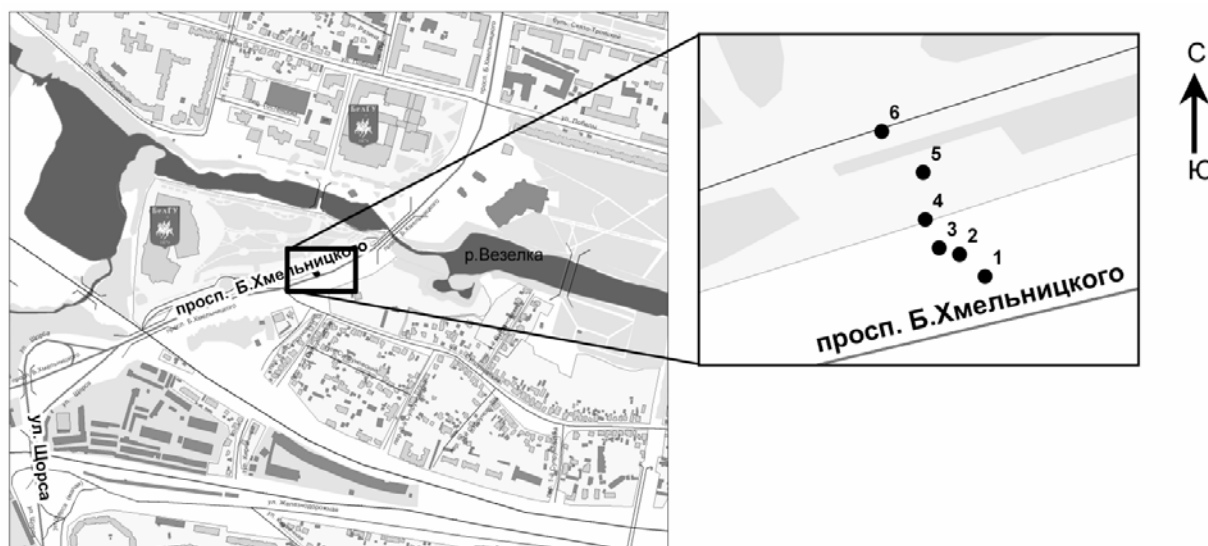


Рис. 1. Схема расположения площадок отбора проб снега в центральной части г. Белгорода (номера площадок соответствуют номерам отобранных проб)

Содержание частиц в талой снеговой воде определяли весовым методом с использованием электронных весов OHAUS AR-2140. Суспензия фильтровалась через предварительно высушенные и взвешенные на электронных весах фильтры, после чего фильтры повторно высушивались и взвешивались. По результатам расчетов определялась общая масса частиц и их количество, приходящееся на единицу площади отбора проб снега. Параллельно с отбором проб снега производились измерения плотности потока отраженного излучения, поступающего от его поверхности радиометром AvaSpec-2048. Измерения велись по единой методике при естественном освещении и малой облачности. Для устранения случайных колебаний в значениях производилось усреднение по 20 последовательным изме-

рениям. Технические характеристики прибора позволили получить КСЯ снега с шагом 2 нм. Результаты спектрометрических исследований обрабатывались в программе AvaSoft с последующей конвертацией в формат спектральных библиотек программного комплекса ENVI для обеспечения возможности проведения автоматизированного дешифрирования снежного покрова [9].

Результаты и их обсуждение. По результатам лабораторных исследований установлено, что общее количество примесей в талой снеговой воде для проб, отобранных на удалении 1,0-6,6 м от автомагистрали в 2-5 раз меньше, чем для проб, отобранных на расстоянии 9,5-20,6 м (табл.). В непосредственной близости от автомагистрали содержание твердых частиц на поверх-

ности снежного покрова может увеличиваться в результате разбрасывания противогололедной пескосоляной смеси. Возможно, по этой причи-

не на площадке №1 наблюдается очень высокое (515,5 мг/л) содержание твердых частиц.

Таблица. Содержание твердых примесей в пробах снега, отобранных на различном расстоянии от автомагистрали

№ пробы (площадки)	Расстояние от магистрали, м	Глубина снега до наста, см	Объем талой снеговой воды, л	Удельная масса твердых частиц в пробе, мг/л
1	1,0	8,5	243	515,64
2	4,1	7,8	402	143,53
3	6,6	7,5	383	127,68
4	9,5	9	594	42,09
5	13,9	9,3	527	27,89
6	20,6	7,2	438	30,14

Удельное содержание твердых частиц в талой снеговой воде уменьшается пропорционально расстоянию от автомагистрали, достигая на удалении 14-20 м значений порядка 30 мг/л. Таким образом, в двадцатиметровой зоне происходит выпадение наиболее крупных частиц, приводящее к заметному потемнению снега. На большем расстоянии запыление визуально не выявляется.

Расчет интенсивности осаждения частиц на поверхность снега показал, что на расстоянии более 20 м от автотрассы уровень выпадения частиц понижается в семь раз и достигает 7 мг/м² в сутки (рис. 2). Зависимость интенсивности осаждения пыли от расстояния от предполагаемого источника загрязнения может быть описана экспоненциальным уравнением, что соответствует общепринятым представлениям о распределении загрязнений от низких источников на незастроенной территории [8]. В среднем уровень осаждения в двадцатиметровой полосе от автотрассы составляет 25,19 мг/м² в сутки, что по результатам проведенных нами в 2005 и 2009 гг. исследований соответствует модулю техногенного давления в шестикилометровой зоне от карьерно-отвалных комплексов горно-рудных предприятий Старооскольско-Губкинского промышленного узла.

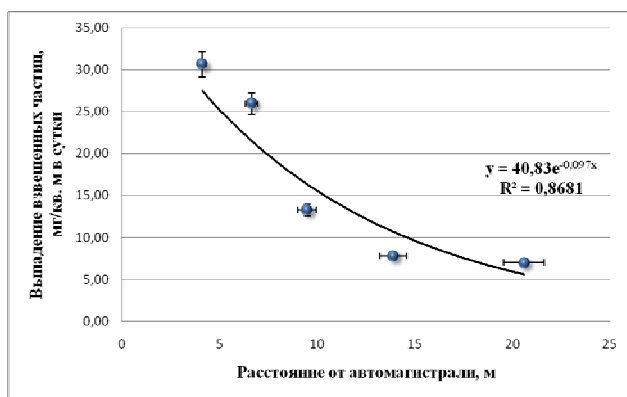


Рис. 2. Интенсивность осаждения взвешенных частиц на поверхность снега в двадцатиметровой полосе от автотрассы

В результате спектрометрических исследований установлено, что снег с различным содержанием пыли имеет сходные по форме и отличные по абсолютным значениям КСЯ (рис. 3).

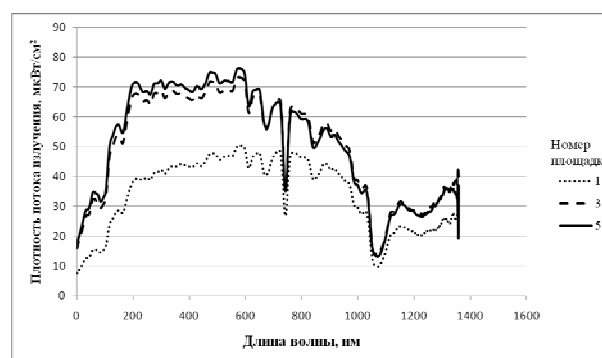
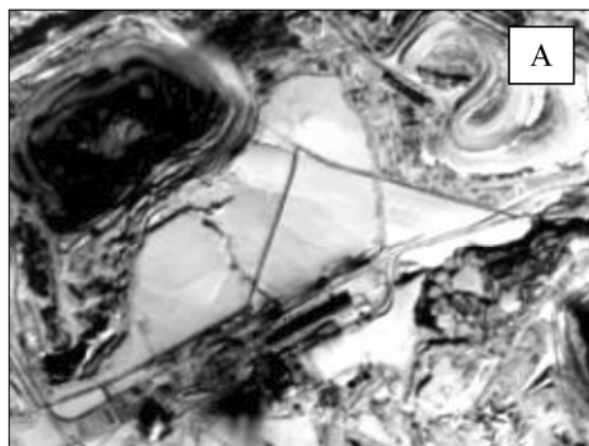


Рис. 3. Кривые спектральной яркости снега с различной запыленностью

Для первой площадки с высоким уровнем запыленности характерны пониженные значения отраженного излучения по всему спектру, при незначительных различиях в запыленности (площадки 3 и 5) эта закономерность меняется. Для площадки 5 характерны более высокие значения излучения в диапазоне до 700 нм, чем для площадки 3 с большей запыленностью. В то же время в диапазоне 700-1100 нм закономерность обратная. Это явление может быть связано с различиями в плотности снега, которые оказывают влияние на его отражательную способность в инфракрасной части спектра, т.к. при снижении запыленности, роль других факторов изменения отражательной способности возрастает. Следует отметить, что использованная нами модель спектрометра сертифицирована для проведения измерений в диапазоне длин волн 300-1100 нм и значения, полученные за этими пределами, для анализа не использовались.

Построенные КСЯ применялись при автоматизированной классификации изображения зимнего космического снимка Landsat-7 для территории Старооскольско-Губкинского промузла. Предварительно была проведена стандартизация снимка с

целью приведения значений пикселей изображения к величинам излучения, зафиксированным сенсором. Перед классификацией была создана маска обработки снимка, исключая объекты застройки, лесопокрытые площади, дороги и другие территории, не покрытые снегом. Установлено, что по имеющимся кривым спектральной яркости, при использовании допустимого отклонения в 20%, достоверно можно выделить два класса по степени запыленности снежного покрова (рис. 4). Участки снежного покрова, отнесенные к первому классу, являются наиболее запыленными, что наглядно



видно на исходном космическом снимке. Содержание твердых частиц в талой снеговой воде здесь может превышать 130 мг/л, в то время как для участков, отнесенных ко второму классу, оно находится в пределах 30-130 мг/л. В ходе классификации часть территории не была отнесена ни к одному из классов. Путем визуального дешифрирования установлено, что на этих участках находится наименее запыленный снег. При наличии сведений о длительности экспонирования снега, дополнительно можно произвести расчет интенсивности осаждения твердых частиц на единицу площади.

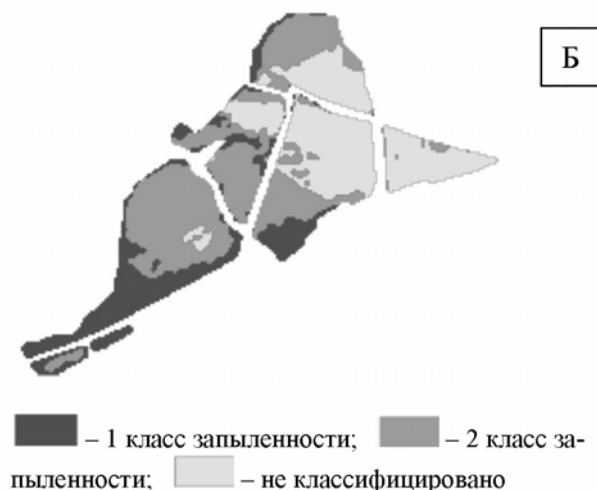


Рис. 4. Классификация снежного покрова в непосредственной близости от Лебединского ГОКа: А – фрагмент исходного космического снимка Landsat-7, Б – результат классификации по КСЯ

Выводы. Существующая приборная и методическая базы позволяют вести сопряженный анализ спектральной отражательной способности снежного покрова и его запыленности. При изучении уровня запыленности снега вблизи автомагистрали установлено, что наибольшее количество твердых частиц находится в трехметровой полосе от проезжей части. С увеличением расстояния происходит закономерное снижение удельной массы твердых частиц в талой снеговой воде. Связь интенсивности выпадения пыли на поверхность снега и расстояния от автомагистрали может быть описана экспоненциальной функцией с коэффициентом детерминации 0,87. Наибольшие различия в величинах отраженного излучения наблюдаются на площадках, для которых количество твердых частиц отличается на порядок. Как и следовало ожидать, при снижении уровня запыленности увеличивается общая яркость снега. В то же время при среднем уровне запыленности кривые спектральной яркости покрытых снегом площадок имеют разный характер. В ближней инфракрасной области спектра более чистый снег имеет меньшие величины отраженного излучения. Выявленные различия в спектральной отражательной способности снежного покрова позволили автоматически выделить на космиче-

ских снимках высокого разрешения снег двух классов запыленности. Можно констатировать, что для более детального разделения снега по степени запыленности необходимо дополнительно получить эталонные кривые спектральной яркости условно чистого снега с различными характеристиками уплотненности и влажности.

**Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (проект МК-1189.2010.5)*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Василенко, В.Н.* Мониторинг загрязнения снежного покрова / *В.Н. Василенко, И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман.* – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 185 с.
2. *Дейвис, Ш.М.* Дистанционное зондирование: количественный подход / *Ш.М. Дейвис, Д.А. Ландгребе, Т.Л. Филлипс* и др. Под ред. *Ф. Свейна и Ш. Дейвис.* Пер. с англ. – М.: Недра, 1983. – 415 с.
3. *Дмитриев, А.В.* Корреляция динамики снеготаяния и содержания пылевых веществ в снегу вокруг г. Омска / *А.В. Дмитриев, В.В. Дмитриев* // Материалы Шестой всероссийской открытой ежегодной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Москва, ИКИ РАН, 10-14 ноября 2008 г. – М.: ИКИ РАН, 2008. – С. 84-91.

4. Кринов, Е.Л. Спектральная отражательная способность природных образований. / Е.Л. Кринов – М.: Изд-во АН СССР, 1974. – 272 с.
5. Кучмент, Л.С. Оценка характеристик снежного покрова путем совместного использования моделей и спутниковой информации / Л.С. Кучмент, П.Ю. Романов, А.Н. Гельфан, В.Н. Демидов // Исследование Земли из космоса. – 2009 – № 4 – С. 47-56.
6. Микушин, В.В. Оценка аэрозольного загрязнения атмосферы заселенных пунктов Алтайского Края и Республики Алтай по данным мониторинга снежного покрова / В.В. Микушин, А.Е. Каплинский, И.А. Суторихин, А.В. Пузанов // Экология урбанизированных территорий. – 2006. – № 2. – С. 87-93.
7. Нульман, А.А. Исследование магнитных характеристик атмосферных выпадений, аккумулярованных в снеговом покрове / А.А. Нульман, В.И. Уткин, Н.И. Москаленко // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2008. – №4 – С. 80-86.
8. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Л.: Гидрометиздат, 1997. – 76 с.
9. Программный комплекс ENVI: Учебное пособие – М.: Sovzond, 2008. – 270 с.
10. Barlow, J. Mapping snow avalanche chutes in the Canadian Rockies using Landsat TM and DEM data / J. Barlow, S.E. Franklin // Can. Journal Remote Sensing – 2008. – V. 34 – №6. – P. 516-625.
11. Chylek, P. Albedo of soot-contaminated snow / P. Chylek, V. Ramaswamy, V. Srivastava // Journal of Geophysical Research. – 1983. – №10(88) – P. 837-843.
12. Dozier, J. Spectral signature of alpine snow cover from the Landsat Thematic Mapper. / J. Dozier // Remote Sensing of Environment. – 1989. – №28 – P. 19-22.
13. Hall, D.K. Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the MODIS Snow and Sea Ice-Mapping Algorithms / D.H. Hall, G.A. Riggs, V.V. Salomonson. – 2001. – 45 p.
14. Hall, D.K. Accuracy assessment of the MODIS snow products / D.H. Hall, G.A. Riggs // Hydrological processes, 2007. – V. 21. – P.1534-1547.
15. Kulkarni, A.V. Field Based Spectral Reflectance Studies to Develop NDSI Method for Snow Cover Monitoring / A.V. Kulkarni, J. Srinivasulu, S.S. Manjul, P. Mathur // Journal of the Indian Society of Remote Sensing – 2002. – V. 30 – №1. – P. 73-80.
16. Pei, Huan. Snow information abstraction based on remote sensing data: Taking the north of Xinjiang for example. / Pei Huang, Fang Shifeng, Liu Zhihui, Qin Zhihao // Geo-spatial Information Science. – 2009. – №12(1). – P. 56-60.
17. Philip, G. Glacial mapping using Landsat Thematic Mapper data: A case study in parts of Gangotri glacier, NW Himalaya / G. Philip, K.V. Ravindran // Journal of the Indian Society of Remote Sensing. – 1998. – V.26. – N1-2 – P. 29-34.
18. Yun-gang, C. Normalized difference snow index simulation for snow-cover mapping in forest by geosail model / C. Yun-gang, L. Chuang // Chinese geographical science. – 2006. – V. 16 – N 2. – P. 171-175.

STUDYING THE INFLUENCE OF SNOW CLEANLINESS LEVEL ON ITS SPECTRAL REFLECTING POWER

© 2010 O.A. Chepelev¹, O.M. Lomivorotova², P.A. Ukrainskiy², E.A. Terekhin²

¹ Federal-regional Center of Space and Ground Monitoring of Objects and Natural Resources

² Belgorod State University

Work is devoted to problematics of snow cover use as the indicator of aerotechnogenic loading intensity. In article questions of snow cleanliness level near the highways and its influences on spectral reflecting power on snow cover are considered. On empirical data for one of the central streets of Belgorod influence of particle contents in thawed snow melt with remoteness from a highway is certain. Curves of snow spectral brightness with various level of cleanliness are received. Data of researches have allowed to draw conclusions on perspective of remote studying spectral properties of snow cover for definition of aerotechnogenic loading level in industrial centres.

Key words: *snow cleanliness level, remote sounding, snow reflecting power*