

Корреляция динамики снеготаяния и содержания пылевых веществ в снегу вокруг г. Омска

А.В. Дмитриев, В.В. Дмитриев

Омский государственный педагогический университет

644099, Омск, Тухачевского, 14

E-mail: vdmitriev@omgpu.edu, ftsoft@yandex.ru

Работа посвящена исследованию влияния пылевых и сажевых загрязнений на процесс снеготаяния. Была исследована корреляция динамики снеготаяния и содержания пылевых веществ в снегу вокруг г. Омска по материалам зимне-весеннего сезона 2007 года. Динамика таяния снега характеризовалась следующими параметрами: датой начала, скоростью таяния и пороговыми значениями альbedo снежного покрова. Заметна количественная связь между интенсивностью снеготаяния и содержанием примесей в снегу.

Введение

Динамика снеготаяния является индикатором, как климатических процессов, так и зон промышленного загрязнения пылевыми и сажевыми выбросами. В предыдущих работах [1-3] была отмечена зависимость характеристик снеготаяния от наличия заметного загрязнения, накопленного за зимний период. Кроме того, была прослежена (на качественном уровне) зависимость динамики снеготаяния от метеорологических условий.

В данной работе ставилась задача связать параметры процесса снеготаяния с численными значениями аэрозольного загрязнения на местности. В качестве параметра, определяющего степень загрязнённости, была выбрана массовая доля примесей в снегу к моменту, предшествующему снеготаянию. Для определения массовой доли примесей было произведено взятие проб снега на местности в окрестностях г. Омск. Кроме того, ставилась задача найти критерии, максимально устраняющие субъективность при определении параметров снеготаяния и поддающиеся алгоритмизации. Последнее весьма существенно, если учесть, что конечной целью является разработка автоматизированных процедур для определения уровня загрязнений.

В работе использованы данные ДЗЗ, полученные радиометром MODIS спутников TERRA и Aqua и радиометром AVHRR со спутников NOAA за весенний сезон 2007 г. Материалы радиометра MODIS были представлены поднебными продуктами MOD09.

Выделение снежного покрова на спутниковых изображениях производилось по данным 1 и 7 каналов радиометра MODIS и 1 и 3 канала радиометра AVHRR. Для данных AVHRR использовался нормированный дифференциальный снежный индекс (NDSI), составленный на основе 1 и 3 каналов [2]. Проверка правильности выделения контролировалась по наземным данным.

Для получения объективных численных характеристик процесса снеготаяния было решено проследить динамику яркостных характеристик снега от времени, усреднённую по участкам. Были выбраны 13 участков на различных расстояниях от центра г. Омска. Данные участки были выбраны таким образом, чтобы отразить влияние загрязнения на процесс снеготаяния. Для этого, первые 9 участков были выбраны на примерно равном расстоянии на разных направлениях от города, один участок был расположен в направлении преобладающих зимних ветров от города, два участка были выбраны в парковых зонах города, и один участок был взят на большем удалении от города в качестве слабозагрязнённого. Кроме того, для окрестностей г Омска прослеживался также изменения контура вытаивания в период схода снежного покрова.

Алгоритм выполнения работы состоял из следующих шагов:

- 1) Выбор зон для анализа яркости снежного покрова. Зоны подбирались из следующих сооб-

ражений: они должны быть равнинными, практически безлесными и не включать промышленные, жилые и транспортные зоны.

2) Взятие проб снега в различных точках г. Омска и его окрестностях и определение массовой доли примесей в снегу. По полученным данным построено распределение содержания примесей в снегу для изучаемых зон.

3) Используя данные исследований предыдущих годов, был проведён подбор спектрального канала или индекса, наиболее адекватно отражающего процесс снеготаяния [4-6]. В качестве наблюдаемого признака использовалась яркость в 1 канале данных MODIS, соответствующая показателю отражения в диапазоне длин волн 620 – 670 нм.

4) Построение ожидаемого контура вытаявания на весну 2007 г по розе ветров за зимний период. Далее этот предсказанный контур вытаявания сравнивался с реальным, получаемым по спутниковым данным.

5) Построение контуров вытаявания, соответствующих последовательным дням и определение альбедо снега на различные даты периода снеготаяния.

6) Построение карт распределения температуры с использованием архива погодных данных по Омской области на рассматриваемый промежуток времени, для учёта возможных различий метеословий между зонами.

7) Исключение непригодных для работы данных оказалось относительно легко автоматизируемым, и было совмещено с операцией подсчёта статистики по зонам в служебную утилиту. При этом, на подневных данных MODIS непригодными для работы считались участки, обеспеченные точками менее, чем на 75%.

8) Построение временной зависимости значений яркостных характеристик и соотнесение с погодными параметрами для учёта влияния метеословий на ход снеготаяния.

9) Подбор аппроксимирующей кривой для наилучшего отражения временного хода яркости, поиск корреляции между содержанием примесей в снегу и параметрами снеготаяния.

Так как построенные карты распределения температур не показали значительных различий между выбранными зонами в период снеготаяния (не более 0,5°C), то было решено рассматривать метеословия во всех зонах как одинаковые. В таком случае становилось возможным предположить, что все различия между динамикой снеготаяния на различных участках обусловлены влиянием пылевого загрязнения снега.

Приняв данные допущения, стало возможным по результатам исследования сделать следующие выводы.

Первое, в рассмотренный промежуток времени отмечалась корреляция даты наиболее интенсивного снеготаяния с содержанием пылевых примесей в снегу. В наблюдаемый период процесс снеготаяния более загрязнённых участков начинался раньше. Для наибольшей объективности исследования, в качестве временного критерия оценки использовалась дата среза аппроксимирующей кривой на основе фильтра Баттерворта [7].

$$Y(t) = A + \frac{B}{\sqrt{1 + \left(\frac{x}{C}\right)^{2 \cdot D}}}$$

Здесь X – дата (номер дня в году), Y – коэффициент отражения в 1 канале MODIS умноженный на 10000, A – минимальное значение коэффициента отражения, B – перепад между минимальным и максимальным значениями коэффициента отражения, C – аналог частоты среза фильтра, в данном случае – дата наиболее интенсивного снеготаяния, D – порядок фильтра, в данном случае этот показатель отражает среднюю интенсивность снеготаяния.

Использование данного выражения иллюстрирует рис.1, на котором приведены точки, соответствующие коэффициенту отражения снега на первом исследованном участке за разные дни.

Сплошной линией показана аппроксимирующая кривая. Коэффициенты аппроксимирующего выражения определялись по методу наименьших квадратов и для данного случая имели следующие значения: $A= 309.13$, $B=7144.88$, $C= 95.567$, $D= 28.81$. Коэффициент корреляции составляет $0,97$. Коэффициент корреляции в приведенном примере высок, но это типичное значение. Значения коэффициента корреляции для всех рассматриваемых зон находятся в пределах $0,88 - 0,99$.

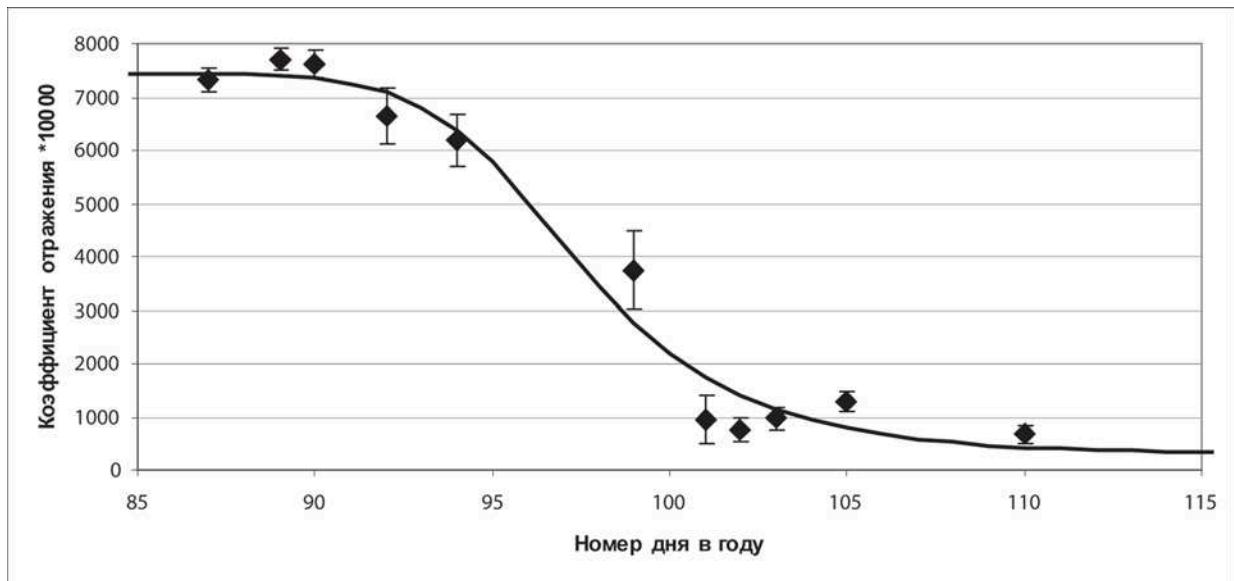


Рис. 1. Пример аппроксимации временного хода яркости в первом канале MODIS с помощью фильтра Баттерворта. Вертикальными линиями отмечены погрешности

Использование данной аппроксимации дало возможность автоматического выделения даты наиболее быстрого снеготаяния для каждого участка. Соответствие полученных дат активного снеготаяния и содержания примесей приведено на рис.2

Кроме того, было отмечено заметное различие в значении альбедо, по достижении которого таяние резко ускорялось. Данное, пороговое альбедо для загрязненных участков составляет 0.7 , для наиболее чистых участков приближается к 0.5 . Данный результат может быть получен при сопоставлении рис.2-3.

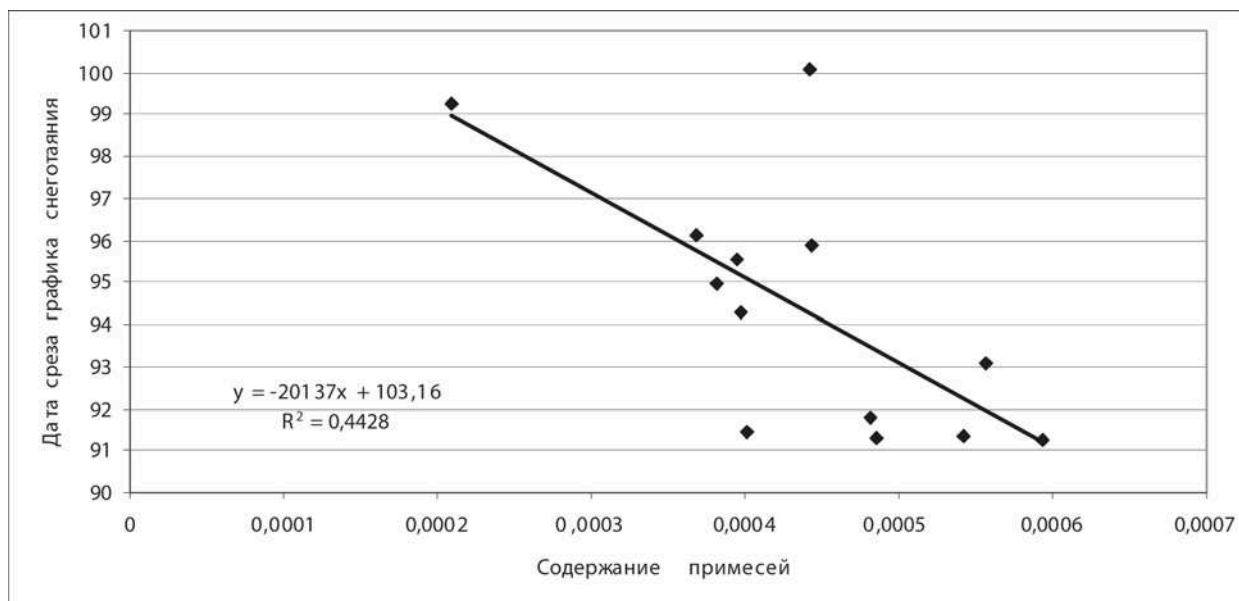


Рис. 2. Диаграмма соответствия содержания примесей в снегу и даты начала активного снеготаяния

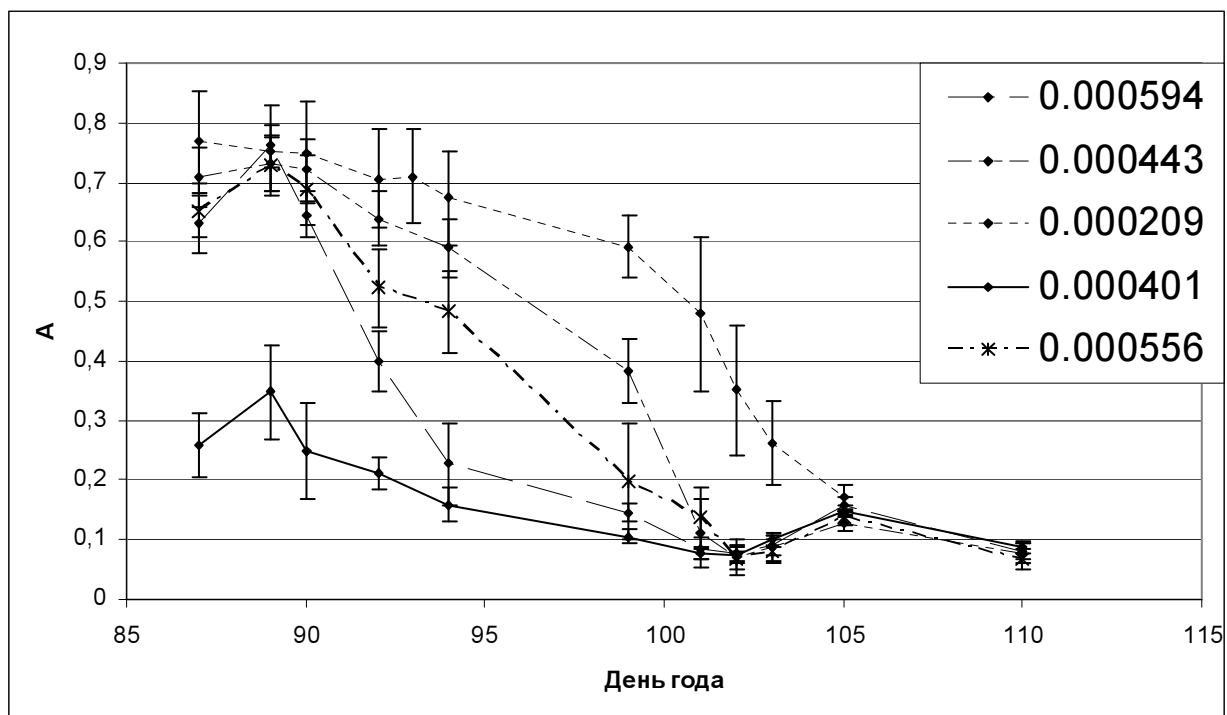


Рис. 3. Временная зависимость альbedo снега для участков различной степени загрязнённости. Вертикальными линиями отмечены погрешности

Второе, альbedo снега в первом канале MODIS на начало снеготаяния коррелирует с массовой долей примесей, см. рис.4. Данный результат количественно подтверждает сделанные ранее качественные выводы [3] и результаты других авторов [1].

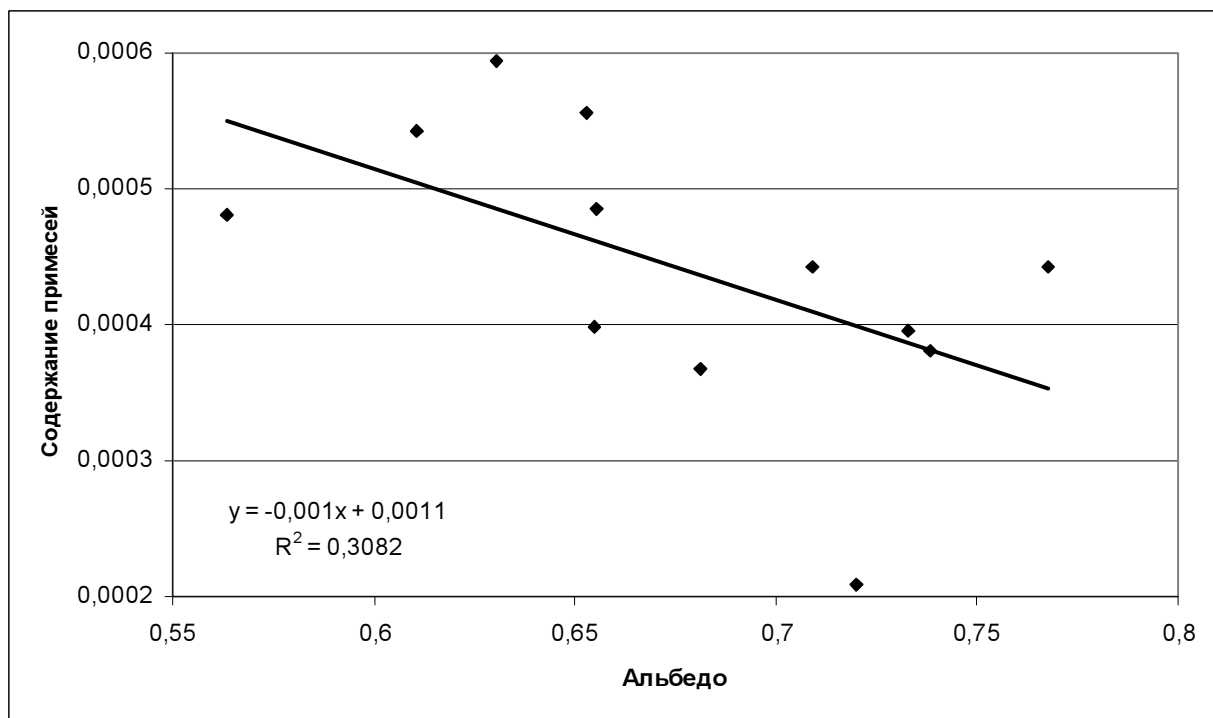


Рис. 4. Корреляция альbedo на начало снеготаяния и содержание примесей в снегу. По оси X отложено значение альbedo снега на начало снеготаяния. По оси Y отложена массовая доля примесей в снегу для соответствующих участков

Третье, на загрязнённых участках ход снеготаяния был более резким, что выразилось, в более высоком значении коэффициентов при приближении полиномом второй степени и более высоком значении порядка при аппроксимации фильтром Баттерворта, см. рис.5-6.

Полученный результат объясняется тем, что оба упомянутых показателя характеризуют скорость снеготаяния, которая с ростом величины загрязнения должна возрастать.

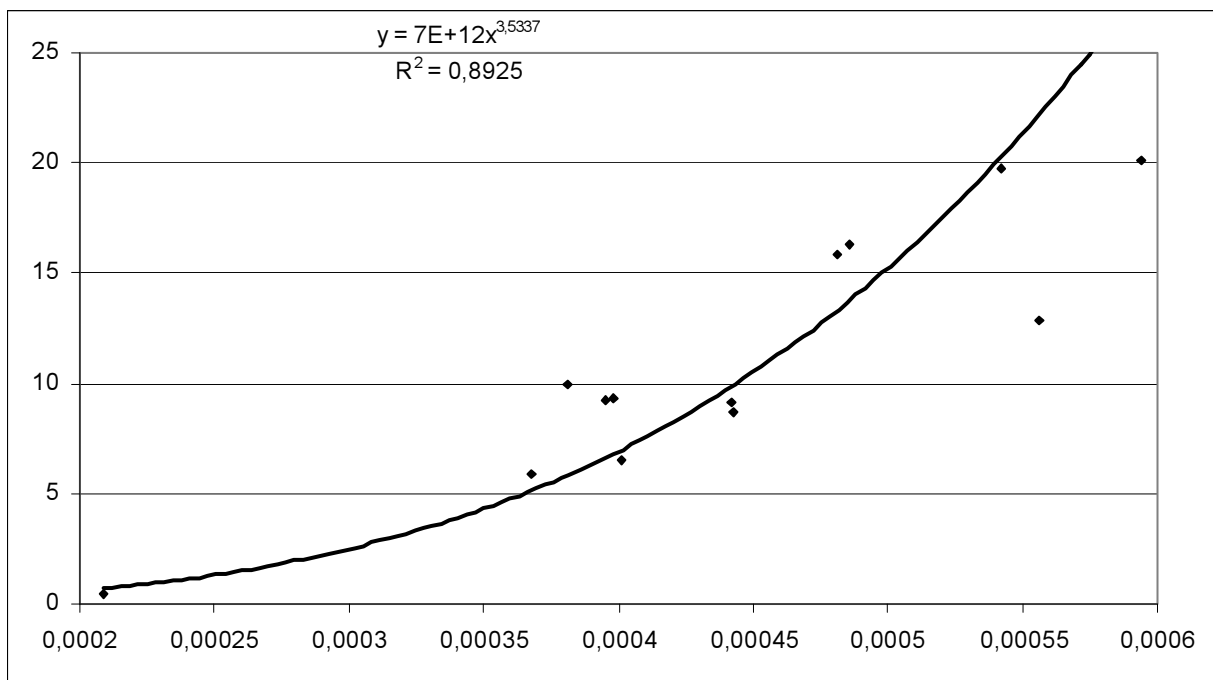


Рис. 5. Корреляция старшего коэффициента полинома 2 степени, аппроксимирующего зависимость от времени показателя отражения в 1 канале MODIS и содержания примесей

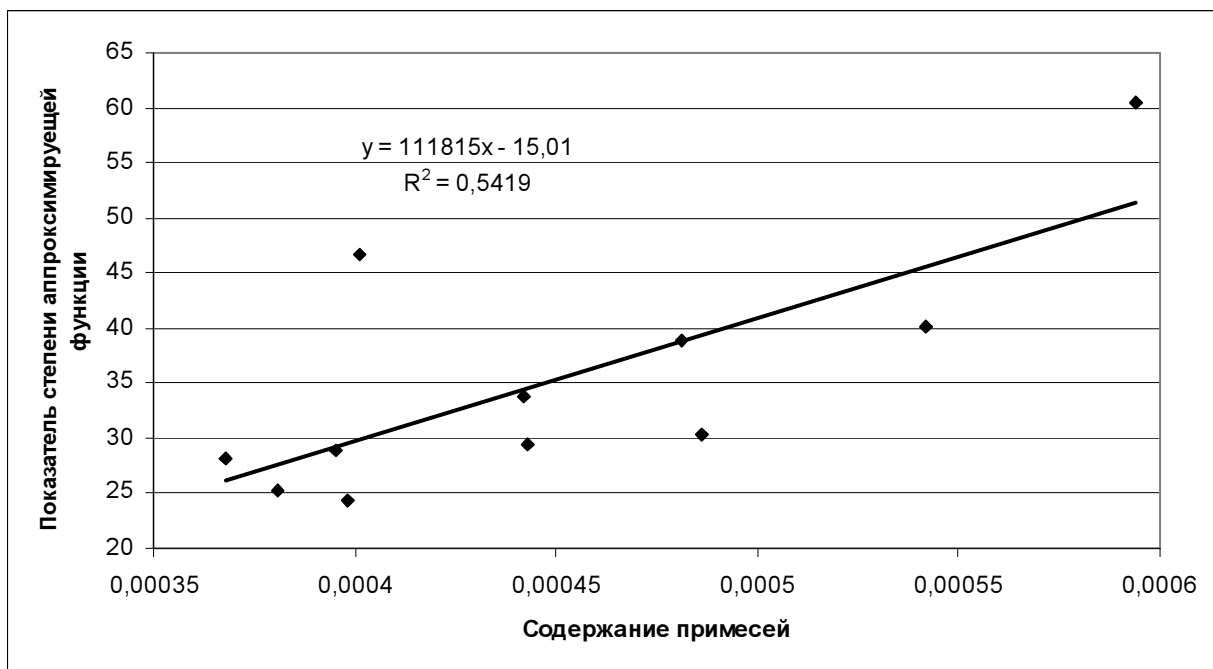


Рис. 6. Корреляция порядка фильтра аппроксимирующего зависимость от времени показателя отражения в 1 канале MODIS и массовой доли примесей в снегу

Четвертое, контур вытаивания согласовался с преимущественным направлением ветра в зимний период и с альбедо снега на момент начала снеготаяния. Для демонстрации этой взаимосвязи на рисунке 7а – 7в приведены фрагмент снимка изучаемой местности, контуры вытаивания снежного покрова и розы ветров на фоне снимка соответственно.

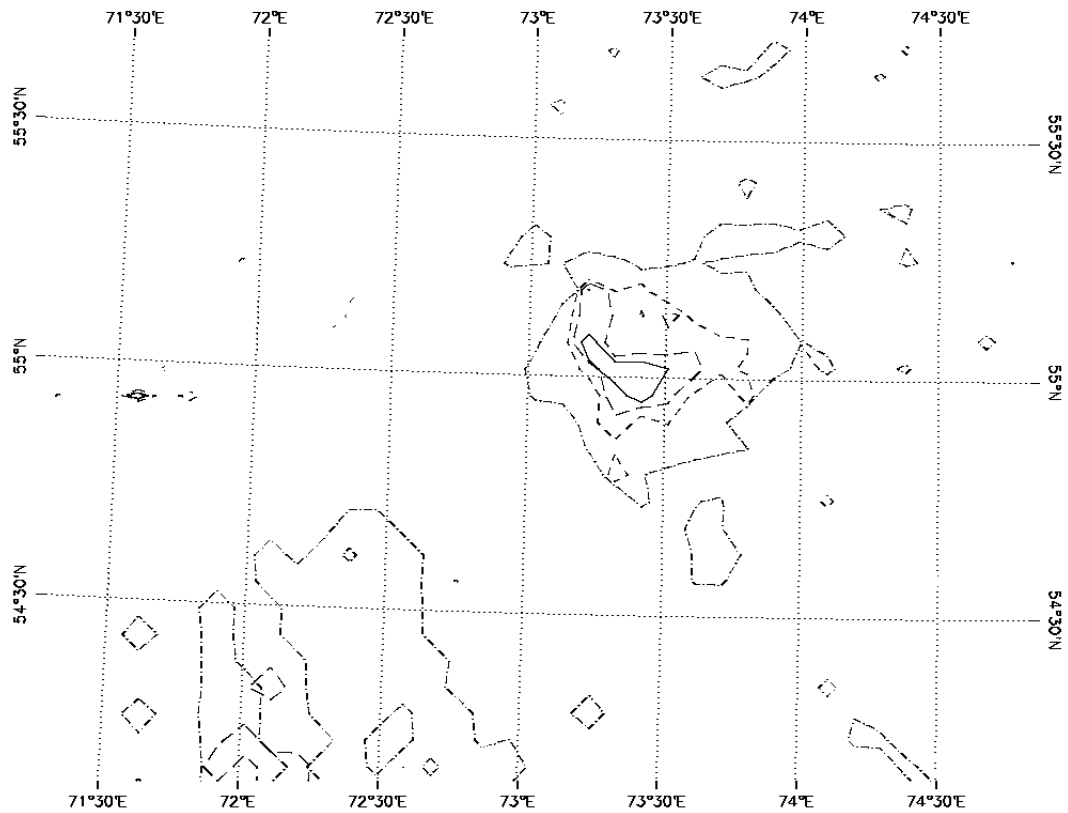


Рис. 7а. Динамика контуров снеготаяния в весенний период 2007 г. Линии соответствуют линиям снеготаяния на различные даты: 31.03, 2.04, 4.04 и 9.04

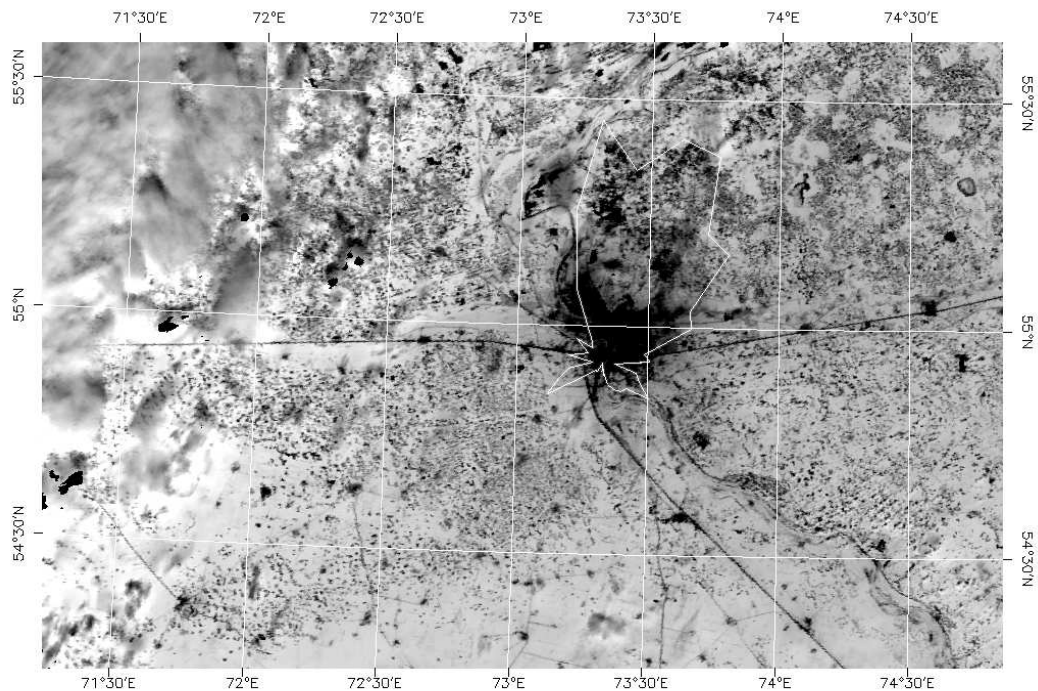


Рис. 7б. Роза ветров за зиму 2006-2007 г., наложенная на значения альбедо, на начало снеготаяния

Пятое, на основе данных о времени активного таяния (рис.2) и данных о кривизне кривой хода показателя отражения со временем (рис.4-5) оказалось возможным построить разделяющиеся кластеры, соответствующие участкам различной загрязненности см. рис.8.

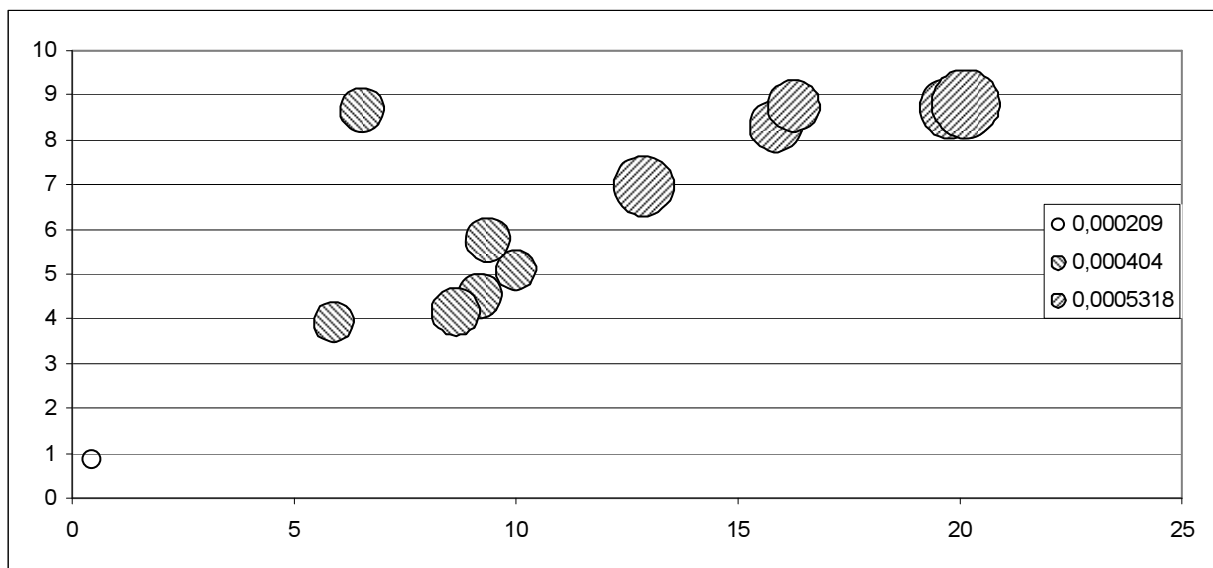


Рис. 8. Группы кластеров, сформированных по 2 признакам. По оси X отложен старший коэффициент полинома 2 степени, аппроксимирующего зависимость от времени показателя отражения в 1 канале MODIS. По оси Y отложена разница (в сутках) дат начала активного снеготаяния участков от аналогичной даты контрольного участка. Размер (диаметр) маркеров пропорционален величине загрязнений. Значения в легенде соответствуют среднему значению содержания примесей для кластера

На материале данного года заметна чётко проявляющаяся взаимосвязь процесса снеготаяния с наличием жидких осадков в период снеготаяния. На рис.9 видно значительное ускорение процесса под воздействием жидких осадков.

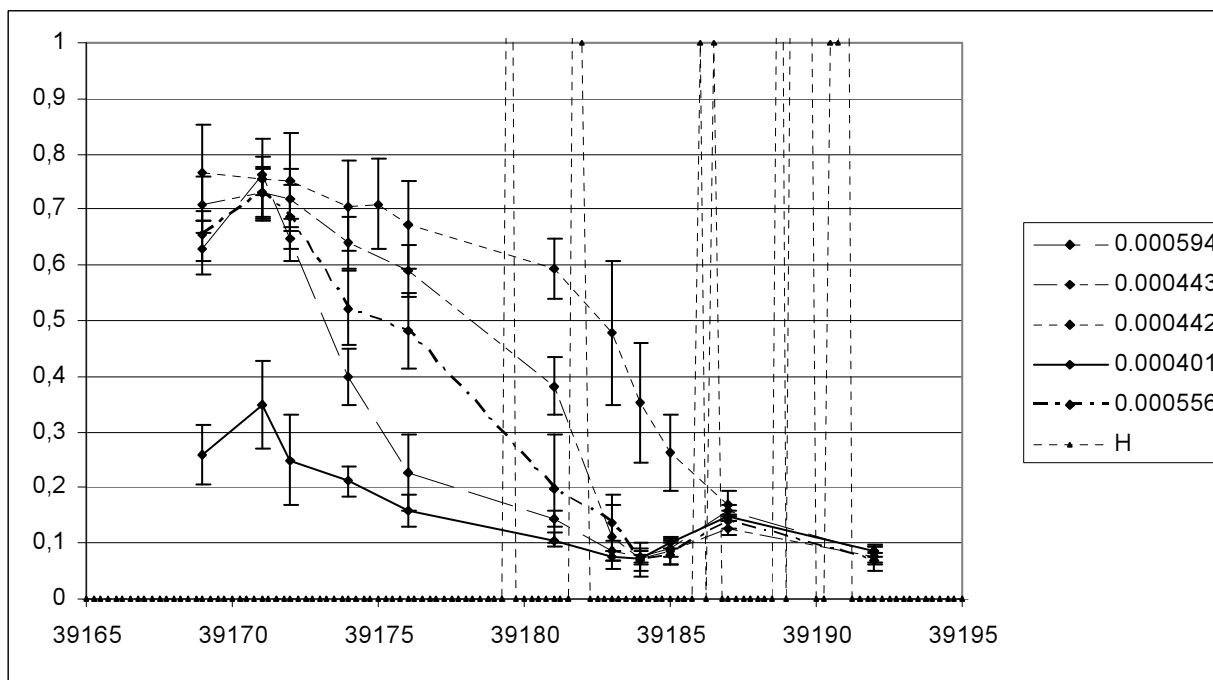


Рис. 9. Зависимость процесса снеготаяния от наличия жидких осадков. На рисунке показана временная зависимость показателя отражения в 1 канале MODIS для участков с разной загрязненности. Ряд H показывает время, когда наблюдалось выпадение жидких осадков. Вертикальными линиями отмечены погрешности

Литература

1. Миронов В.Л., Евтюшкин А.В., Дубина И.Н., Юшаков В.Н. Картографирование загрязнения снежного покрова по космическим сканерным изображениям МСУ-Э и МСУ-СК // Региональные проблемы информатизации. Труды республиканской научно-технической конференции (20-21 апреля 1995 г.). Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ 1995. 109 с. С.47-48.
2. Дмитриев В.В., Есина Л.В. Исследование временной динамики границы снежного покрова в Омском регионе. // Третья всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Москва, ИКИ РАН, 14-17 ноября 2005 г., С. 110.
3. Дмитриев А.В., Дмитриев В.В. Исследование динамики снеготаяния в Омском регионе за 2002-2006 годы. // Четвёртая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Москва, ИКИ РАН, 14-17 ноября 2006 г., С. 115.
4. Снег. Справочник /Под ред. (Д. М. Грея и Д. Х. Мэйла пер с англ. Под ред. Чл-кор. АН СССР В. М. Котлякова) Ленинград Гидрометеоздат 1986.
5. Красс М.С., Мерзликин В.Г. Радиационная теплофизика снега и льда Ленинград, гидрометеоздат 1990
6. Дистанционное зондирование: количественный подход /Ш. М. Дейвис, Д. А. Ландграбе, Т. Л. Филипс и др. пер с англ. М. Недра, 1983 – пер изд США, 1978.
7. Цифровая обработка сигналов /А.Б. Сергиенко – СПб.: Питер, 2003.