

**Теоретическое и экспериментальное
исследование процесса таяния снежного покрова в районе
г. Омска по материалам 2007-2009 г.**

А.В. Дмитриев, В.В. Дмитриев

*Омский государственный педагогический университет
644099, Омск, Тухачевского 14,
E-mail: vdmmitriev@omgri.omsk.edu*

Работа была посвящена моделированию теплового баланса снега с использованием спутниковых данных и метеоданных. По результатам работы предыдущего года было известно, что аппроксимация временной зависимости спектрально-яркостных характеристик снежного покрова позволяет в автоматическом режиме определять временную динамику процесса снеготаяния. Дальнейшей задачей являлся переход от временных критериев (день активного снеготаяния, интенсивность (продолжительность) таяния) к энергетическим для того, чтобы получить критерии, не зависящие от года наблюдения, либо учитывающие разницу погодно-климатических условий в разные годы. Использовались данные дистанционного зондирования (радиометр MODIS) и данные натурных измерений на местности.

Ключевые слова: снег, снеготаяние, пылевое загрязнение, тепловой баланс, анализ временных рядов.

Введение

Скорость накопления и стаивания снежного покрова может быть использована в качестве индикатора в различных прикладных задачах. В их число входят климатические процессы, и определение зон промышленного загрязнения пылевыми и сажевыми выбросами. Факт влияния пылевых загрязнений на процесс таяния снега известен давно (Красс, Мерзликин, 1990). В ходе предыдущей работы (Дмитриев, Дмитриев, 2010), автоматическая аппроксимация временных параметров снеготаяния позволила заметить корреляцию даты снеготаяния и содержания пылевых загрязнений, достигающую от 0,3 (неоднородные участки и малые концентрации пыли) до 0,8 (ровные безлесные участки с относительно большим содержанием пыли). Но недостаток чисто временных критериев состоит в том, что их результаты основанных на них расчётов относительны и не могут быть экстраполированы на другие местности, и даже на другие годы в той же местности. Поэтому следующей задачей являлся поиск независимых от года критериев пылевого загрязнения снега и их выделение при автоматизированной обработке спутниковых данных. Для этого была построена модель теплового баланса снеготаяния (более подробно описанная ниже) основным достоинством которой является независимость от погодных различий года исследования. Исходя из способа построения модели можно предположить возможность применения её также в других местностях.

В работе использованы данные ДЗЗ, полученные радиометром MODIS спутника TERRA и AVHRR со спутников NOAA за зимне-весенние сезоны 2007-2009 гг, по которым, с помощью алгоритма из предыдущей работы строились карты распределения временных характеристик процесса снеготаяния. Также использовались данные о погоде с метеостанций омского региона <http://meteo.infospace.ru/>.

В качестве физической основы, не зависящей от года, была принята модель теплового баланса, учитывающая приход энергии от солнца (с учётом рассеяния и поглощения облачностью), лучевой теплообмен с атмосферой и небом, а также конвективный перенос. В предыдущей работе уже было предпринято построение модели теплового баланса, но она была локальной, и пригодной только для ровной местности. В ходе работы модель была расширена для работы по площади. Кроме того, учитывалось влияние рельефа, поскольку, например, расчет суточного прихода солнечной энергии для дня в районе периода снеготаяния (29 марта) показал значение 14,24 МДж/м² на северном склоне и 15,17 МДж/м² на южном при уклоне наклона 1,5 градуса. Отсюда был сделан вывод о необходимости учёта влияния рельефа при расчете солнечных составляющих теплового баланса.

Конечная модель теплового баланса в качестве входных данных использовала следующие данные: карту склонов/направлений склонов, рассчитанную нами на основе SRTM90, данные с метеостанции г Омска (температура, облачность (послойно), сила и направление ветра) с промежутками в 6 часов, временные характеристики процесса снеготаяния, рассчитанные для окрестностей в пределах 50км от г Омска с пространственным разрешением 250м на основе приближения фильтром Баттервортса (Гонсалес, Вудс, 2005), и построенным по данным MODIS. Расчет приходящей солнечной энергии производился по известным формулам, см. например ArcGis 9.2 Desktop Help// http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Solar_radiation_analysis_equations.

С использованием модели был произведен расчет различных комбинаций составляющих теплового баланса. Расчет производился для временного промежутка с 32 по 110 дни (с 1 февраля по 20 апреля). Далее среди рассчитанных комбинаций отбирались наиболее соответствующие наземным данным. В качестве базового был принят 2009 г., так как этот год был лучше других обеспечен наземными данными. Материалы 2007 и 2008 годов использовались в качестве контрольных.

Из рассчитанных комбинаций составляющих теплового баланса были выбраны 5 наиболее соответствующие наземным данным. После группировки схожих из них получились 3 параметра.

А) Суммарный теплобаланс снега к моменту начала снеготаяния/активного снеготаяния, при предположении об одинаковом альбедо снега для всего периода.

Б) Сумма пришедшей на снег солнечной энергии к моменту начала снеготаяния/активного снеготаяния или значение этой суммы, нормированное по промежутку представленных значений.

В) Суммы теплобаланса тех дней, у которых суммарный теплобаланс превышал энергию, необходимую для нагрева 10 см слоя льда до температуры плавления.

На рисунках 1 и 2 представлено пространственное распределение массовой доли пылевых частиц в снегу по наземным данным 2009 г и распределение расчетного прихода солнечной энергии к моменту активного снеготаяния.

Можно увидеть сходство пространственного расположения.

Для оценки величины загрязнения взаимосвязь между данными наземных измерений и энергетическими параметрами была приближена линейной, а в случае накопления положительных теплобалансов - степенной функцией

На рисунках 3-5 по оси ординат отложены значения концентрации загрязнения в точках сбора проб в 2009 г, а по оси абсцисс – значения параметров теплового баланса.

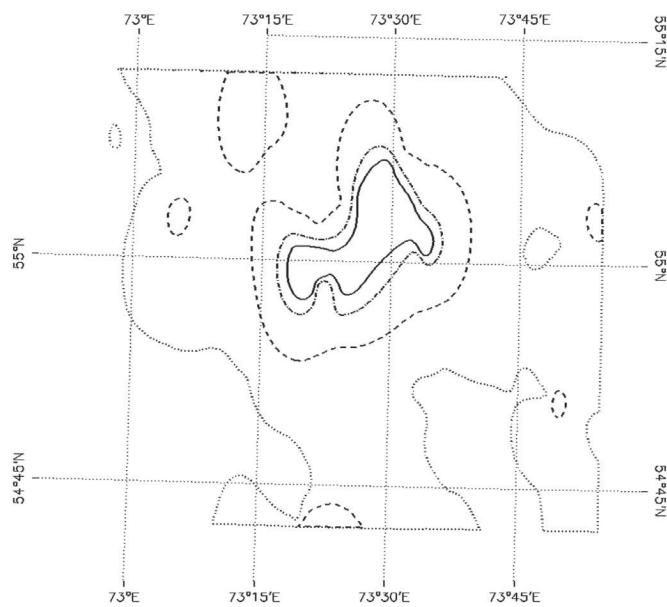


Рис. 1. Пространственное распределение массовой доли частиц в снегу.
Линии соответствуют массовой доле: 0,0001; -·- 0,0004; - - - 0,0008; — 0,001

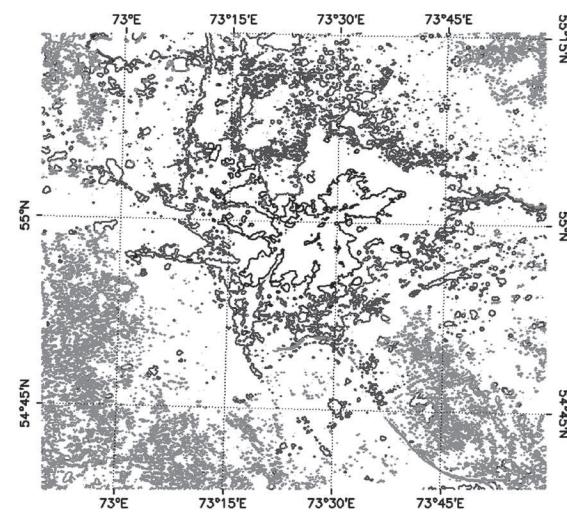


Рис. 2. Пространственное распределение накопления пришедшей солнечной энергии к моменту снеготаяния.
Линии соответствуют энергии (МДж/м²): — 350; — 500; — 610

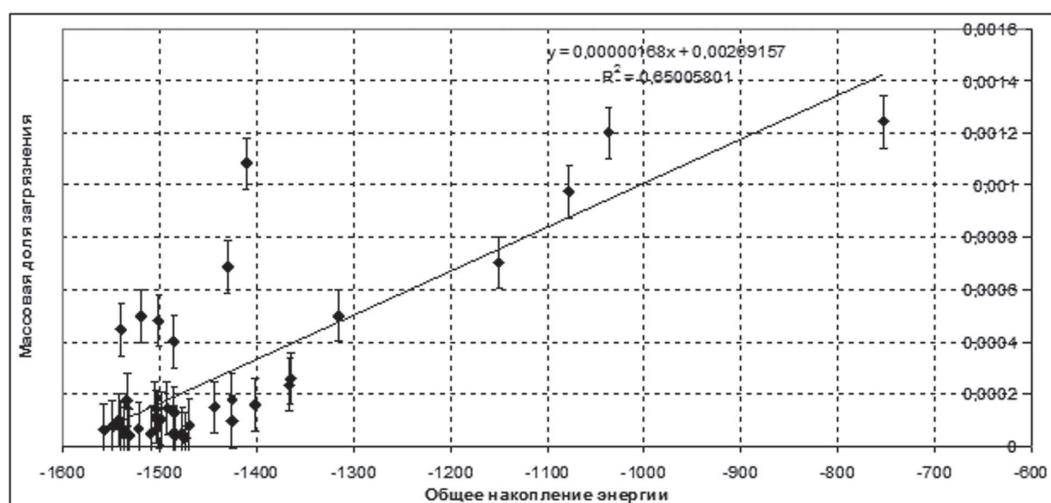


Рис. 3. Общее модельное накопление энергии к моменту снеготаяния

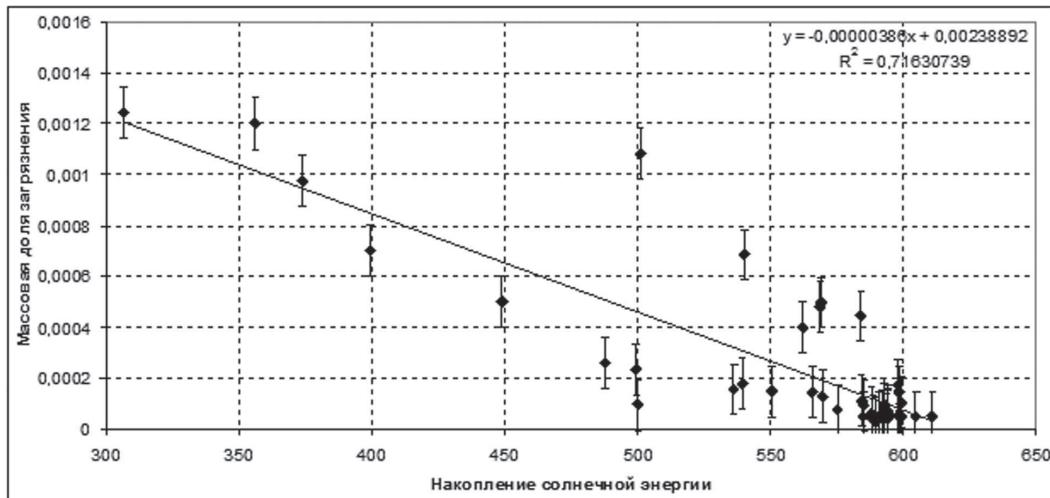


Рис. 4. Накопление пришедшей солнечной энергии к моменту снеготаяния

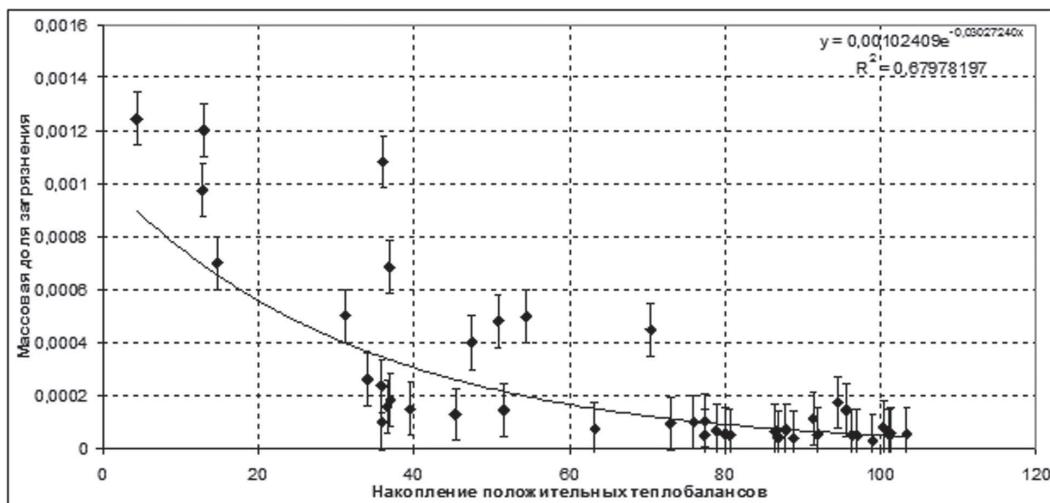


Рис. 5. Накопление положительных теплобалансов к моменту снеготаяния

Можно увидеть корреляцию с наземными данными для всех трёх параметров, а также то, что корреляция во всех трёх случаях примерно одного порядка. Учитываю неполноту наземных данных и возможный недоучёт части факторов (вариабельность природных данных) добиваться большей корреляции не представлялось целесообразным.

Полученные выражения затем были использованы для решения обратной задачи. Для примера, на рис 6 представлено распределение расчетных концентраций на основе накопленной к моменту активного таяния солнечной энергии.

Для проверки правильности решения обратной задачи были построены графики исходных наземных данных и расчётных значений загрязнения. Например, на рис. 7 представлен график сравнения наземных данных с расчётными на основе накопленной энергии для точек с полным обеспечением наземными данными (места наземных проб), а на рис. 8 график сравнения наземных данных с расчётными на основе нормированного накопления солнечной энергии для выборки в 4800 (равномерно взятые 1/9 от общего количества).

Далее был произведён расчет относительной погрешности при расчете концентрации пыли в снегу на основе параметров теплового баланса. В таблице 1 приведены доли точек, имеющих относительную погрешность менее 100% при расчёте по различным параметрам.

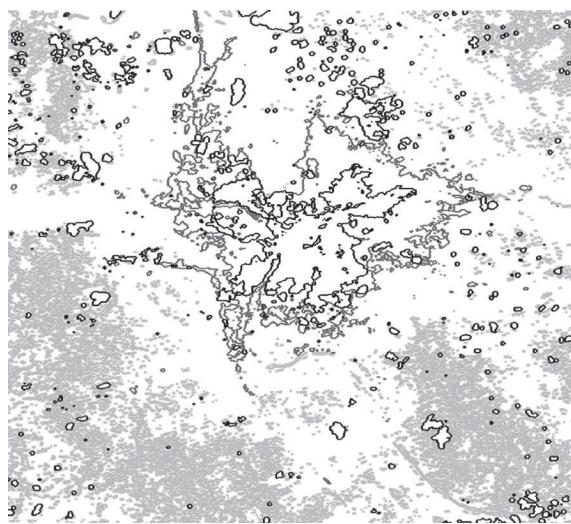


Рис. 6. Распределение расчетных концентраций пылевого загрязнения в снегу рассчитанное из накопления солнечной энергии. Линии соответствуют массовой доле: — 0,0001; — 0,0004; — 0,0008;

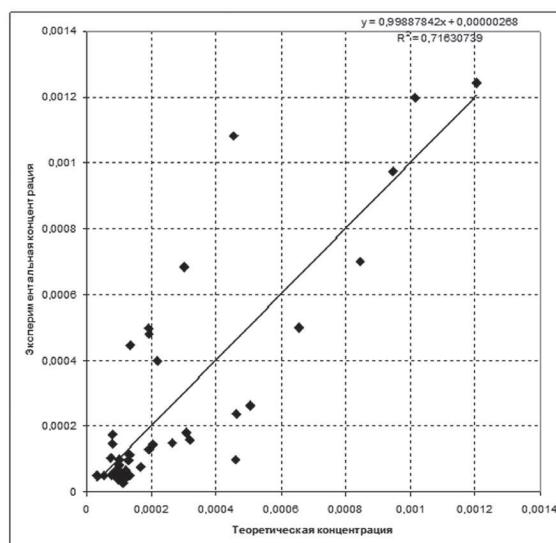


Рис. 7. Сравнение наземных данных с расчётыми на основе накопленной энергии для точек с полным обеспечением наземными данными

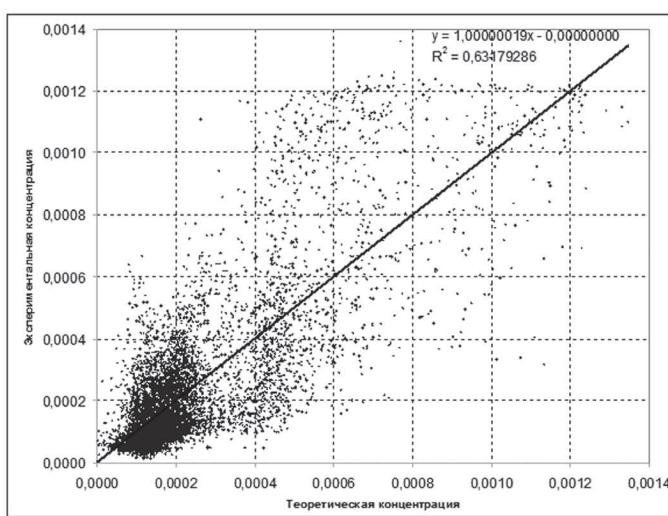


Рис. 8. Сравнение наземных данных с расчётыми на основе нормированного накопления солнечной энергии для выборки в 1/9 от общего количества

Таблица 1.

Критерий рассчёта	День активного таяния	Сумма на начало таяния	Сумма на день активного таяния	Сумма солнечная на день начала таяния	Сумма солнечная на день активного таяния	Сумма положительных на день активного таяния
Доля точек с погрешностью < 100%	90,04%	77,96%	72,28%	88,29%	90,67%	82,29%

По значениям видно, что определение абсолютной величины загрязнения связано с достаточно большими погрешностями, однако оказывается возможным оценить порядок величины загрязнений и их географическое расположение (см. рис. 6).

Следующим шагом работы стала попытка проверки, работают ли те же зависимости при переносе на другой год

На рисунках 9-11 представлены: 9 – наземные данные, 10 – расчётное загрязнение по данным 2008 г, 3 – расчетное по данным 2008 г., а зависимости 2009 г.

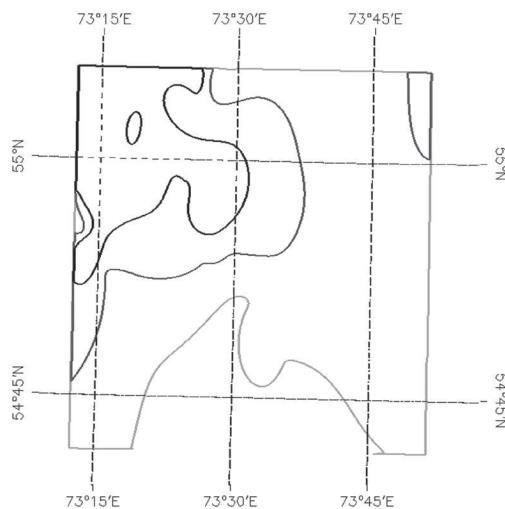
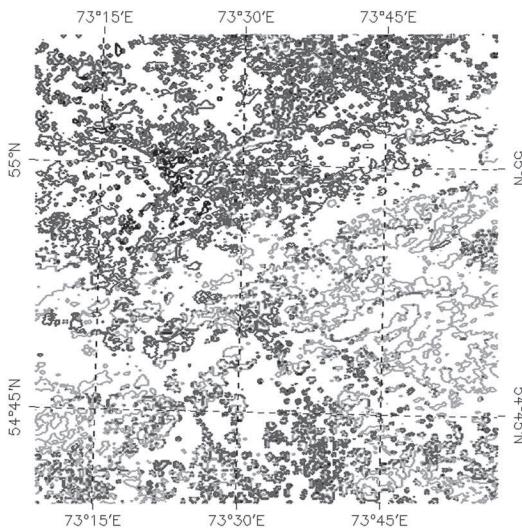


Рис. 9. Наземные данные о массовой доли пыли в 2008 г. Линии соответствуют массовой доле:
— 0,0001; — 0,0004; — 0,0008



Рис. 10. Расчетные данные о массовой доли пыли по 2008 г.
Линии соответствуют массовой доле: — 0,0001; — 0,0004; — 0,0008.



*Рис. 11. Расчетные данные о массовой доли пыли по 2008 г. с использованием зависимости от 2009 г.
Линии соответствуют массовой доле: — 0,0001; — 0,0004; — 0,0008*

По результатам работы было выявлено, что рассчитанные по модели параметры накопления тепловой энергии снегом к моменту начала снеготаяния оказались более устойчивыми к отличиям климатических условий рассмотренных годов, чем временные параметры процесса снеготаяния.

Кроме того, были достигнуты следующие промежуточные результаты:

- 1) Использовавшаяся в предыдущих работах модель теплового обмена снега была усовершенствована для расчетов по площади с учётом характеристик рельефа.
- 2) Выделены несколько комбинаций составляющих теплового баланса для использования в качестве количественных маркеров загрязнения.
- 3) Произведён переход к использованию абсолютных (энергетических) расчетных единиц, что позволяет перенести способ расчета на другие годы.

В работе использованы данные ДЗЗ, полученные радиометром MODIS спутника TERRA.

Авторы благодарят лабораторию Информационной поддержки космического мониторинга ИКИ РАН за предоставление архива спутниковых данных.

Литература

1. Гонсалес Р. С, Вудс Р. Е. Цифровая обработка изображений. Москва, Техносфера 2005 1072 с.
2. Дмитриев А.В., Дмитриев В.В. Теоретическое и экспериментальное исследование процесса таяния снежного покрова в районе г. Омска по материалам 2008-2009 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2010. Т. 7. №2. С.138-148.
3. Красс М. С., Мерзликин В. Г. Радиационная теплофизика снега и льда. Ленинград, Гидрометеоиздат, 1990. 260 с.

Teoretical and experimental research of snow melting process around Omsk city on materials of 2007-2009

A. V. Dmitriev, V. V. Dmitriev

*Omsk State Pedagogical University
644099, Tuchachevskogo, 14, Omsk
E-mail: vdmitriev@omgpu.omsk.edu*

This article was dedicated to modeling of snow thawing thermal balance using satellite and meteorological data. Results of previous year work showed, that approximating snow brightness temporal dynamics allows automated computation of snow melting temporal dynamic parameters, which can then be used for detection of dust-aerosol in snow. The goal of this year research was transition from use of temporal criteria (date of active thawing, intensity of snow melting process) to thermal/energy parameters. These criteria showed to be less depended on weather differences of consecutive years, and allowed take into account relief influence. This work used remote sensing images of MODIS radiometer, field measurements and meteorological archive data as input parameters.

Key words: snow, snow thawing, dust-aerosol pollution, thermal balance, temporal analysis.