

Космический мониторинг сезонной и межгодовой динамики границ снежного покрова на европейской территории России

З.В. Андреева, М.В. Бухаров, В.А. Кровотынцев

ГУ «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета»
123242, Москва, Б. Предтеченский пер., 7
E-mail: arkweid@yandex.ru

По двум архивам карт, построенных в ГУ НИЦ «Планета» по информации видимого и ИК-диапазона AVHRR, а также микроволнового радиометра AMSU-A ИСЗ NOAA, проведен анализ сезонной и межгодовой динамики относительной площади сплошного и сухого снежного покровов на европейской территории России. Установлено неустойчивое изменение площади сплошного снежного покрова в зимние месяцы и устойчивый тренд к ее уменьшению в весенние месяцы. Площадь сухого снежного покрова устойчиво увеличивалась в январе, а в феврале и в весенние месяцы монотонно убывала. Проведен анализ специфики синоптических, ветровых и температурных условий, при которых на европейской территории России наблюдались противоположные тенденции в изменении относительной площади сухого снежного покрова.

Ключевые слова: снежный покров, космический мониторинг, тематическая обработка.

Введение

Определение границ залегания снежного покрова на земном шаре, а также анализ их изменчивости является одной из важных метеорологических и климатических задач. В последние годы глобальный мониторинг состояния снежного покрова регулярно проводится с помощью спутниковых радиометров, принимающих тепловое излучение Земли в микроволновом и инфракрасном (ИК) диапазонах, а также с помощью сканеров видимого диапазона [1, 2]. Данные, получаемые в разных спектральных диапазонах, взаимно дополняют друг друга. При этом распознавание снежного покрова с помощью радиометров микроволнового диапазона, имеющих относительно грубое пространственное разрешение (несколько десятков км), осуществляется ежесуточно, так как эта информация практически не зависит от облачности [1]. Данные же видимого и ИК-диапазона, имеющие более высокое пространственное разрешение (около 1 км), позволяют следить за положением границы снежного покрова только в те дни, когда над интересующим районом облачность отсутствует [2].

В настоящее время глобальный и региональный спутниковый мониторинг границ распространения снежного покрова широко используется в разных странах. Например, национальная служба США по спутникам наблюдения окружающей среды (NESDIS) выпускает в оперативном режиме карты границ распространения снежного покрова на территории всего северного полушария в автоматическом режиме с разрешением 5 км. Эти карты создают путем комбинирования данных с геостационарных спутников в видимом (0,55 – 0,75 мкм) и ИК диапазонах (3,80 – 4,00; 10,20 – 11,20 мкм). Для распознавания снега на территориях, скрытых облачным покровом, используется информация с микроволновых радиометров с полярно-орбитальных спутников.

По результатам спутникового мониторинга известно, что в период с 1966 по 1997 год площадь снежного покрова на всем пространстве Северного полушария уменьшилась примерно на 10% [3]. Учитывая это, целью работы является изучение сезонной и межгодовой динамики границ снежного покрова, наблюдавшейся в последние годы на европейской территории России (ЕТР), и ее причин. Вычисление относительной площади снежного покрова проведено для территории, ограниченной географическими координатами 41 – 59,5° с.ш. и 27,5 – 61,5° в.д.

Исходные данные

Для решения поставленной задачи использованы два архива карт границ снежного покрова, построенных в ГУ «НИЦ «Планета» на основе ежесуточно проводимой тематической обработки информации, принимаемой с ИСЗ NOAA. Архивы содержат следующие виды карт [2]:

- карты границ сплошного снежного покрова (где покрытие снегом составляет более 50% поверхности), построенные в период с 2003 по 2008 год по методике визуального (экспертного) дешифрирования данных видимого и ИК-диапазона (0,58 – 0,68; 0,725 – 1,00; 3,55 – 3,93 мкм) аппаратуры AVHRR;

- карты границ сухого и тающего снежного покрова, построенные в период с 2005 по 2008 год по информации микроволнового радиометра AMSU-A (учитываются спектральные каналы 23,8; 31,4; 50,3 и 89,0 ГГц) с помощью разработанной в ГУ «НИЦ «Планета» методики автоматизированного распознавания снега [1]. Эта методика позволяет по многоспектральной информации радиометра AMSU-A с пространственным разрешением около 45 км распознавать следующие типы снежного покрова:

- сплошной сухой (при температуре воздуха ниже 0°C) снежный покров;
- медленно тающий (при температуре воздуха от +1 до +4°C) сплошной или лежащий местами снежный покров;
- быстро тающий (при температуре воздуха не менее +5°C) снежный покров.

Анализ динамики сплошного и сухого снежного покровов

Для выявления динамики снежного покрова на изучаемой части европейской территории России, по всем картам были рассчитаны среднемесячные значения относительной площади сплошного (в период с 2003 по 2008 г.) и сухого (в период с 2005 по 2008 г.) снежного покрова. Оценены показатели линейного тренда (крутизны изменения) соответствующих среднемесячных значений относительной площади снежного покрова в анализируемые периоды и достоверность (R^2 - квадрат коэффициента корреляции) наблюдаемых трендов. Результаты вычислений представлены на рис. 1.

Из данных, приведенных на рис. 1, видно следующее. Изменения относительной площади сплошного снежного покрова на изучаемой территории в зимний период (с декабря по февраль) оказались заметно меньше, чем в весенние месяцы с марта по апрель (см. рис. 1а). Причем, в зимний период линейный тренд в изменении площади сплошного снежного покрова не монотонен (рис. 1в), а его крутизна (скорость изменения за год среднемесячных значений относительной площади сплошного снежного покрова) и достоверность (R^2 не более 0,2) минимальны (рис. 1д).

Однако в весенние месяцы (март и апрель) относительная площадь сплошного снежного покрова на изучаемой территории в период с 2003 по 2008 гг. проявила устойчивую и достоверную тенденцию к ее уменьшению.

Согласно рис. 1б, относительная площадь сухого снежного покрова в рассмотренный период характеризуется значительными отклонениями от усредненного за анализируемый период времени значения не только в зимние месяцы, но и весной. Исключение составил только апрель месяц, когда, из-за таяния снега, относительная площадь сухого снежного покрова в течение всех учитываемых лет оказалась близкой к нулю.

В январе зарегистрирована наивысшая крутизна (рис. 1г) и достоверность (рис. 1е) линейного тренда по увеличению относительной площади сухого снежного покрова на рассматриваемой территории. Но в феврале и марте наблюдается прямо противоположная и достоверная тенденция к уменьшению относительной площади сухого снежного покрова.

Таким образом, динамика сплошного снежного покрова на изучаемой территории в период с 2003 по 2008 гг. характеризуется преимущественно монотонным уменьшением

относительной площади сплошного снежного покрова. Эта тенденция не противоречит известной глобальной тенденции изменения климата на ЕТР в сторону его потепления.

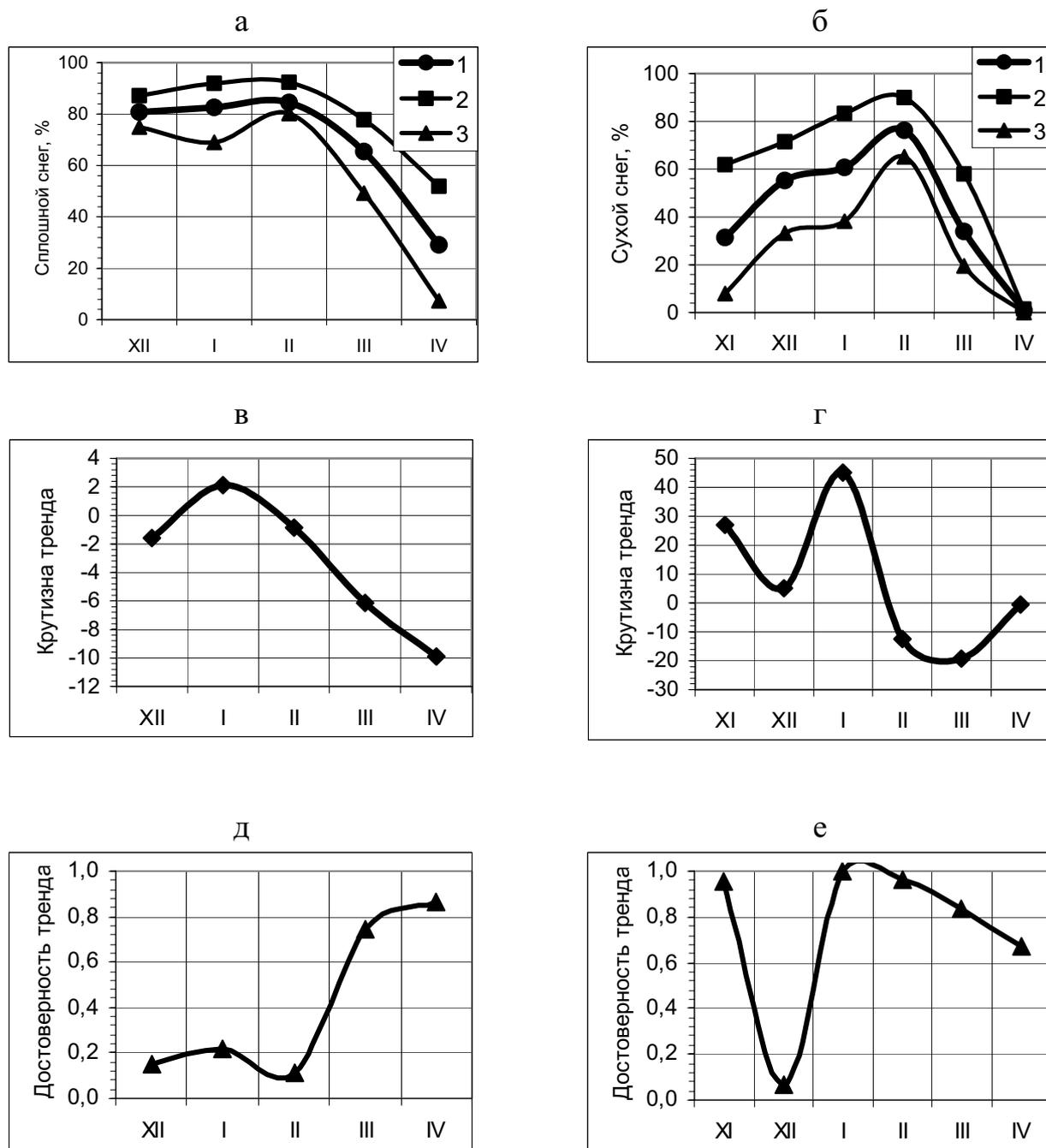


Рис. 1. Графики усредненных за периоды анализа (1) и экстремальных (2, 3) среднемесячных значений относительной площади сплошного (а) и сухого (б) снежного покрова, скорости (крутизны) соответствующих линейных трендов (в, г) и их достоверности (д, е)

Если же обратиться к обнаруженной динамике границ сухого снежного покрова, можно наблюдать достоверные, но прямо противоположные тенденции (см. рис. 1г) в изменении среднемесячной относительной площади сухого снежного покрова на ЕТР в январе и феврале. С целью дополнительного изучения причин возникновения выявленных колебаний, рассмотрим, с какими атмосферными процессами, ветровыми и температурными условиями связано появление

противоположных трендов в январе и феврале. Для этого обратимся к картам приземного давления, максимальной скорости и направления ветра у земли, которые представлены на рис. 2. Выпуск таких карт на момент сеанса спутниковой съемки осуществляется в ГУ «НИЦ «Планета» [4].

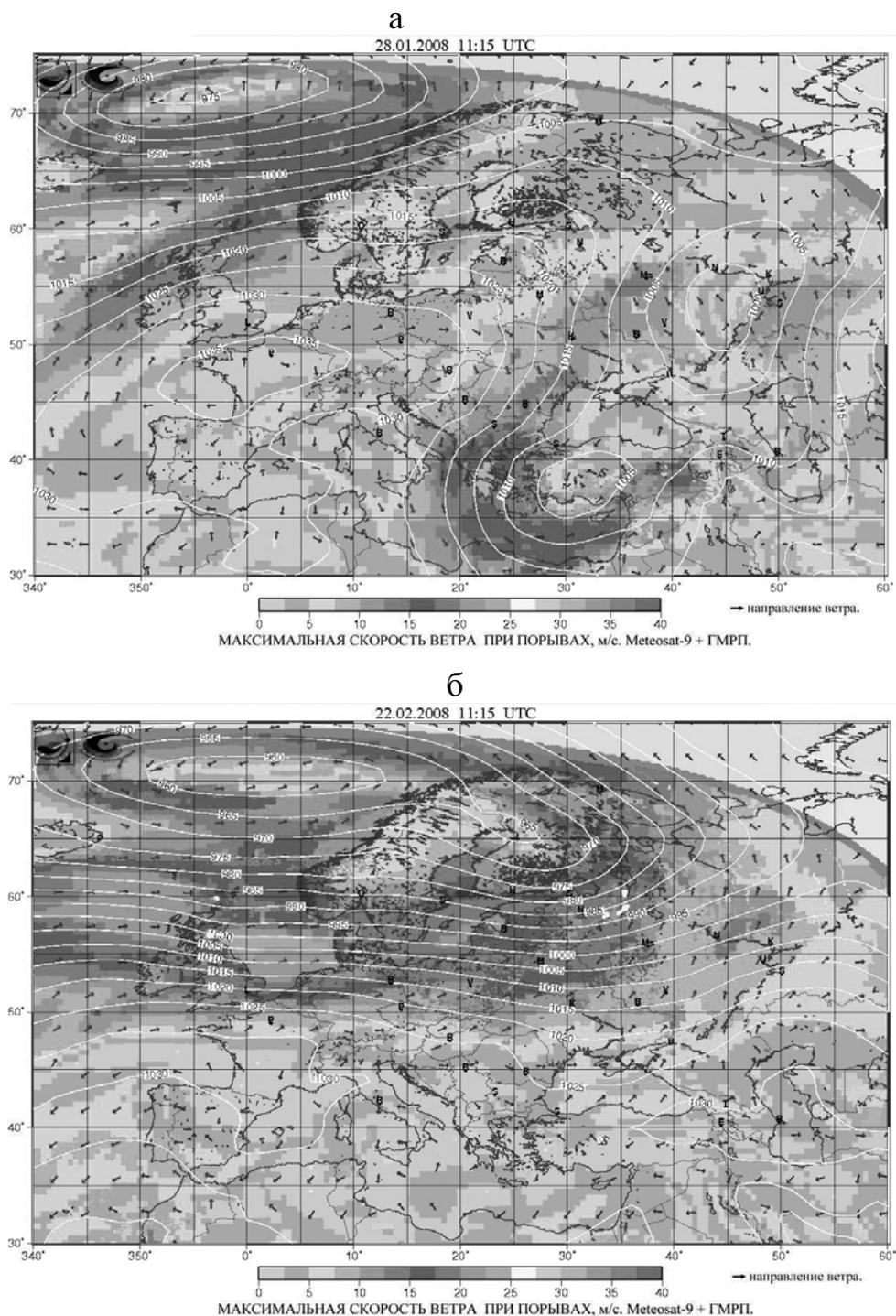


Рис. 2. Карты изобар приземного давления, максимальной скорости и направления ветра в периоды роста (а) и убывания (б) среднемесячной площади сухого снежного покрова на европейской территории России. Карты построены на 11 ч 15 мин ВСВ 28 января (а) и 22 февраля (б) 2008 г.

Анализ атмосферных процессов

Анализ полей давления, направления и максимальной скорости ветра, представленных на картах рис. 2, показал следующее. Основными синоптическими процессами, которые определили затишье в январе на европейскую территорию России (ЕТР) холодных воздушных масс со Скандинавии (с северо-западного направления), явились: глубокий (975 гПа) циклон на севере Атлантического океана и менее глубокий (1000 гПа) циклон над ЕТР. При этом циклон над ЕТР располагается в ложбине, вытянутой в юго-западном направлении, и сопровождается наличием еще одного менее выраженного (1005 гПа) циклона к югу от Черного моря (рис. 2а).

Противоположная тенденция, приводящая к уменьшению относительной площади сухого снежного покрова, оказалась обусловлена затишьем теплых воздушных масс с Атлантики, на севере Атлантического океана. В этом случае также существует глубокий циклон (960 гПа) над северной Атлантикой, но ложбина или циклон над ЕТР отсутствуют (рис. 2б). В рассмотренном февральском случае максимальная скорость ветра с Атлантики достигла 15-20 м/с (рис. 2б), что, при положительной температуре воздуха, которая была определена по карте температур воздуха у земли, приводит к ускоренному таянию снежного покрова.

Таким образом, с помощью карт полей давления, максимальной скорости и направления ветра у земной поверхности показано, что основными причинами противоположного изменения площади сухого снежного покрова на ЕТР в январе и феврале, являются разные синоптические процессы над ЕТР, формирующие преобладание затишья на ЕТР холодных либо теплых воздушных масс.

Заключение

Анализ сезонной и межгодовой изменчивости относительной площади покрытия сплошного и сухого снега на Европейской территории России, выявленной в результате обработки данных оптического и микроволнового диапазонов ИСЗ NOAA, показал, что площади сплошного и сухого снежного покровов можно рассматривать как определенные индикаторы климатических изменений на ЕТР. Однако, из-за того, что ряды данных по снежному покрову в ГУ «НИЦ «Планета» пока еще очень короткие, говорить о наличии каких-либо устойчивых длиннопериодных трендов в настоящее время не представляется возможным. В то же время обе эти характеристики (площадь сплошного и сухого снега) имеют различную реакцию на изменение метеорологических условий. Площадь сухого снега очень чувствительна к усилившимся колебаниям приземной температуры воздуха (что может быть следствием глобального потепления климата), а площадь сплошного снега отражает в основном более продолжительные и медленно меняющиеся тренды метеорологических условий.

Несмотря на то, что для получения площадных характеристик снежного покрова используется совершенно разная (по спектральным характеристикам) спутниковая информация и обработка этой информации по каждому виду продукции проводится по своей методике, результаты обработки данных не противоречат друг другу и при совместном анализе способствуют расширению знаний о реальной динамике снежного покрова. Продолжение спутникового мониторинга снежного покрова по этим направлениям может позволить установить закономерности многолетнего изменения скорости трендов, что важно для разработки более точных долгосрочных прогнозов срока схода снежного покрова на ЕТР.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 08-07-13540 офи_ц.

Литература

1. Бухаров М.В., Геохляян Т.Х., Соловьев В.И. Распознавание типов снежного и ледового покровов по микроволновым измерениям со спутника NOAA // Метеорология и гидрология, 2003. № 11. С. 54-63.

2. Справочник потребителя спутниковой информации / Под ред. В.В. Асмуса, О.Е. Милехина. - С-Пб.: Гидрометеоиздат, 2005. 114 с.
3. *Robinson D.* Hemisphere snow cover and surface albedo for model validation. *Annals of Glaciology*, 1997, № 25, pp. 241-245.
4. *Бухаров М.В., Лосев В.М., Песков Б.Е.* Автоматизированная оценка максимальной скорости порывов ветра у земли с учетом информации геостационарного спутника // *Метеорология и гидрология*, 2008. № 12. С. 5-14.

Space monitoring of seasonal and interannual snow cover dynamics over the European territory of Russia

Z. Andreeva, M. Bukharov, V. Krovotyntsev

*State Research Center for Space Hydrometeorology "Planeta"
(SRC "PLANETA")
123242, Russia, Moscow, B.Predtechenskii Pereulok, 7
E-mail: arkweid@yandex.ru*

A seasonal and interannual dynamics of a relative area under continuous and dry snow cover over the European Territory of Russia is analyzed based on two archives of maps compiled in the State Organization "Planeta Research Center" from the information of the visible and IR- range AVHRR and a microwave radiometer AMSU-A AS NOAA. An unstable change in the continuous snow cover area in the winter months and a stable trend to its reduction in the spring months are established. A dry snow cover area steadily increased in January, while in February and in the spring months, it monotonously decreased. The specificity of synoptic, wind and temperature conditions, when opposite tendencies in changes of the dry snow cover area were observed over the European Territory of Russia, was analyzed.

Keywords: snow cover; space monitoring; thematic processing.