

**Уходящее длинноволновое излучение
по данным региональной климатической модели
и спутникового комплекса AIRS/AMSU***

*Н.В. Волков, А.А. Лагутин, К.М. Макушев,
Е.Ю. Мордвин*

Алтайский государственный университет (Барнаул, Россия)

**Outgoing Longwave Radiation from the Data
of Regional Climate Model and AIRS/AMSU
Satellite Suite**

*N. V. Volkov, A. A. Lagutin, K. M. Makushev,
E. Yu. Mordvin*

Altai State University (Barnaul, Russia)

Представлены результаты исследований годового хода и межгодовой изменчивости интенсивности уходящего длинноволнового излучения (УДИ), полученные с использованием региональной климатической модели RegCM4. Модельные данные получены для территории Алтайского края 2003–2012 гг. в рамках сценария A1B возможной эволюции глобальной климатической системы. Достоверность обсуждаемых результатов проверяется путем сопоставления модельных данных с архивом данных гиперспектрального комплекса AIRS/AMSU-Aqua, созданным в отделе космического мониторинга АлтГУ.

Показано, что результаты моделирования удовлетворительно согласуются со спутниковыми данными. Анализ годового хода и межгодовой изменчивости интенсивности УДИ показал, что максимальное различие модельных и спутниковых данных не превышает $15–20 \text{ Вт/м}^2$. Скорость изменения аномалий интенсивности УДИ для территории Алтайского края для рассматриваемого периода составляет $-0.16 \text{ Вт/м}^2/10 \text{ лет}$ по данным модели RegCM4 и $-0.14 \text{ Вт/м}^2/10 \text{ лет}$ — по данным комплекса AIRS/AMSU-Aqua.

Главным результатом работы является вывод о возможности использования региональной климатической модели RegCM4 для оценки величины изменений аномалий интенсивности УДИ.

Ключевые слова: уходящее длинноволновое излучение, региональная климатическая модель, годовой ход, межгодовая изменчивость, гиперспектральный комплекс AIRS/AMSU-Aqua.

DOI 10.14258/izvasu(2014)1.2-26

The results of investigations of an annual variation and interannual variability of the outgoing longwave radiation (OLR) intensity performed with the RegCM4 regional climate model are presented. Modelling data was obtained for the Altai region in 2003–2012 for the A1B evolution scenario of the global climate system. An accuracy of the discussed results is verified by comparing the simulated data with the AIRS/AMSU-Aqua hyperspectral suite archive data that accumulated in the ASU space monitoring center.

It is shown that the simulation results satisfactorily reproduce the satellite data. Analysis of the annual variation and interannual variability of the OLR intensity shows that the maximum difference between model and satellite data does not exceed $\sim 15–20 \text{ W/m}^2$. The rate of change of OLR intensity anomalies for the Altai region for the above presented period is $-0.16 \text{ W/m}^2/10 \text{ yr}$ and $-0.14 \text{ W/m}^2/10 \text{ yr}$ according to the RegCM4 model and the AIRS/AMSU hyperspectral suite respectively.

In the conclusion, the possibility of using the RegCM4 regional climate model to estimate the OLR anomalies intensity changes is demonstrated.

Key words: outgoing longwave radiation, regional climate model, annual variation, interannual variability, AIRS/AMSU-Aqua hyperspectral suite.

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (государственное задание на проведение фундаменталь-

ных и прикладных научных исследований, выполняемых в АлтГУ).



Рис. 1. Блок-схема последовательности подготовки данных, моделирования и обработки результатов

Введение. Данные инструментальных наблюдений и экспериментов, проведенных с использованием климатических моделей, позволили сделать вывод о том, что одним из основных компонентов, определяющим радиационный баланс системы «атмосфера — подстилающая поверхность Земли» и отражающим климатические изменения на планете, является уходящее длинноволновое излучение (УДИ). В последнем докладе Межправительственной группы по изучению климатических изменений (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) [1] отмечается, что наибольшее влияние на интенсивность УДИ оказывают такие факторы, как изменение температуры подстилающей поверхности, вариации атмосферных профилей температуры и влажности, свойства облаков, концентрация парниковых газов и аэрозолей. В настоящее время единственным способом определения этих параметров в глобальном и региональном масштабах, позволяющим восстанавливать значение интенсивности УДИ на верхней границе атмосферы, являются данные приборов спутникового базирования. Например, запущенный на борту спутника Aqua гиперспектральный комплекс AIRS/AMSU [2, 3] позволяет получать значения интенсивности УДИ с погрешностью не более 2 Вт/м² [4]. Использование показаний входящих в состав комплекса микроволновых радиометров AMSU дает возможность восстанавливать профили температуры и влажности атмосферы даже при почти 80% закрытии зоны облаками [2].

Анализ характера возможных изменений УДИ, отражающий климатические изменения в Сибирском регионе, может быть, по мнению авторов, проведен с использованием региональных климатических моделей, которые показали свою эффективность при изучении регионального

климата в условиях меняющегося глобального климата.

Целью данной работы является исследование возможностей региональной климатической модели RegCM4 [5, 6] при описании годового хода и межгодовой изменчивости УДИ. Достоверность полученных данных проверяется путем сопоставления результатов моделирования с архивом данных гиперспектрального комплекса AIRS/AMSU-Aqua для периода 2003–2012 гг., созданным для территории Алтайского края в отделе космического мониторинга АлтГУ. Главным результатом работы является вывод о возможности применения модели RegCM4 для оценки величины изменений аномалий интенсивности УДИ.

1. Региональная климатическая модель RegCM4. Информационной основой работы являются результаты вычислительных экспериментов, проведенных в Алтайском госуниверситете и Институте вычислительных технологий СО РАН с использованием региональной климатической модели RegCM4 [5, 6], разрабатываемой в международном Центре теоретической физики им. Абдуса Салама. Описание основных модулей системы RegCM4, их назначение и последовательность взаимодействия друг с другом при подготовке входных данных, моделировании и обработке результатов приведены в серии наших работ [7, 8]. На рисунке 1 представлена блок-схема, отражающая взаимодействие различных модулей RegCM4.

На этапе подготовки данных определяются параметры области интегрирования, а также с использованием внешних архивов данных задаются температура океана, начальные и граничные условия. Эти операции осуществляются программами Terrain, SST и ICBC, соответственно. Модуль Terrain задает размеры и положение

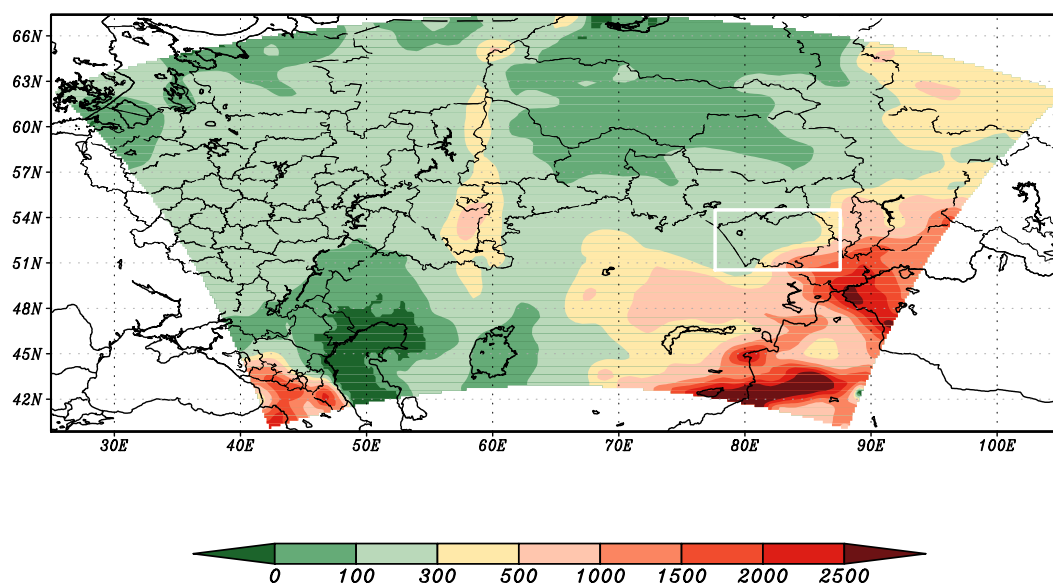


Рис. 2. Топография области интегрирования (метры над уровнем моря). Зона Алтайского края выделена прямоугольником

области интегрирования, координаты узлов сетки с заданным пространственным разрешением, тип картографической проекции и др. Подпрограмма SST (Sea Surface Temperature) служит для задания температуры океана. Запуск данной программы необходим для успешного моделирования даже в том случае, если область интегрирования расположена вдали от океана. С помощью модуля ICBC (Initial Conditions, Boundary Conditions) задаются начальные и граничные условия для всего периода моделирования. ICBC файлы содержат данные о распределении давления и температуры на уровне подстилающей поверхности, проекциях скорости ветра, профилях температуры и отношения смеси водяного пара. Данные ICBC доступны из архивов реанализов (например, NCEP/NCAR [9], ERA-Interim [10] и др.) или из архивов результатов глобальных климатических моделей (например, EN5OM [11]). В данной работе для «подпитки» граничных условий использовались данные модели EN5OM [11], полученные для сценария A1B [12] возможной эволюции глобальной климатической системы.

Модуль RegCM является центральным ядром системы моделирования. В модели имеется ряд схем для описания физических процессов переноса излучения, потоков тепла и влаги в почве, описания физических процессов в пограничном слое, параметризации облаков и осадков и др. Так, для описания переноса потоков тепла и влаги в почве могут быть использованы модели BATS (Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme [13]) или CLM (The Community Land Model [14]). На основании анализа результатов моделирования полей приземной температуры воздуха и осадков, проведенного авторами ранее [7, 8], в данной работе мы

делаем выбор в пользу модели CLM, которая в отличие от BATS точнее описывает процессы влагопереноса в зоне Западной Сибири. Для интеграции данных CLM в модель RegCM4 используется модуль `clm2gcm` (рис. 1).

Для обработки результатов моделирования и их визуализации служат модули `GrADSNCPrepare` и `GrADSNCPlot`. Числовые значения данных NetCDF файлов (основной формат файлов, используемый RegCM4) можно получить с помощью сторонних программных продуктов таких как NetCDF Tools или специальных библиотек для популярных языков программирования с функциями обращения к NetCDF данным.

Расчеты проведены при следующей конфигурации RegCM: размер области интегрирования 100×70 ячеек (границы $\sim (43 - 67)^\circ$ с.ш., $\sim (30 - 95)^\circ$ в.д.), размер ячейки 40 км, равноугольная коническая проекция Ламберта (см. рис. 2), характеристики подстилающей поверхности — по данным архива с разрешением 30 угловых секунд, буферная зона 12 ячеек, 18 сигма-уровней по вертикали. В выполненных расчетах использовалась модель пограничного слоя [15], схема параметризации облаков [16], верхняя граница атмосферы на уровне 50 гПа, временной шаг в атмосферной модели — 150 секунд. Остальные параметры атмосферного блока модели задавались в соответствии с рекомендациям разработчиков RegCM4.

Успешность моделирования интенсивности УДИ для зоны Алтайского края, отмеченного на рисунке 2 прямоугольником, определялась путем сопоставления с архивными данными гиперспектрального комплекса AIRS/AMSU отдела космического мониторинга АлтГУ для периода 2003–2012 гг.

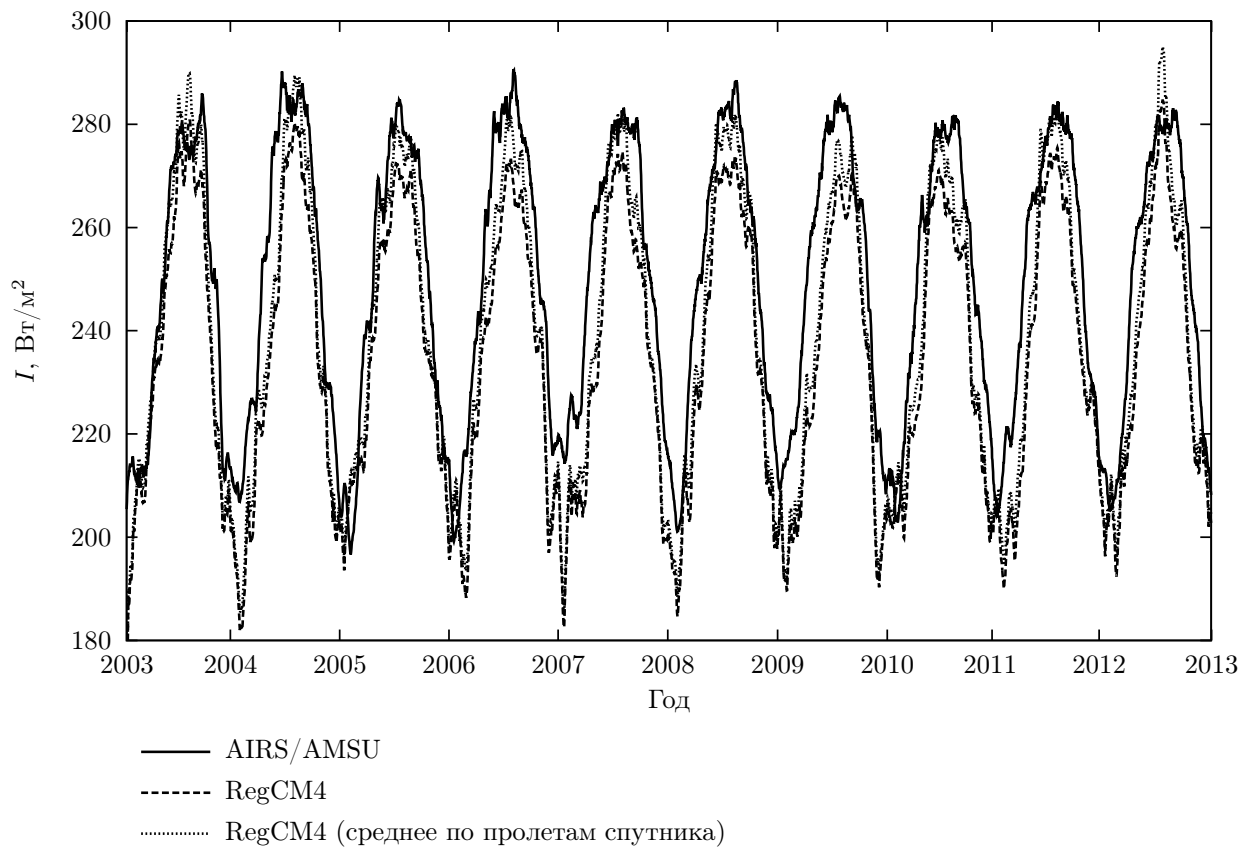


Рис. 3. Межгодовая изменчивость интенсивности УДИ для территории Алтайского края по данным гиперспектрального комплекса AIRS/AMSU и результатам климатической модели RegCM4 для периода 2003–2012 гг. Сплошная линия — интенсивность УДИ по данным архива гиперспектрального комплекса AIRS/AMSU отдела космического мониторинга АлтГУ. Пунктирная линия — среднесуточные значения интенсивности УДИ по данным RegCM4. Точечная линия — результаты RegCM4, усредненные по пролетам спутника

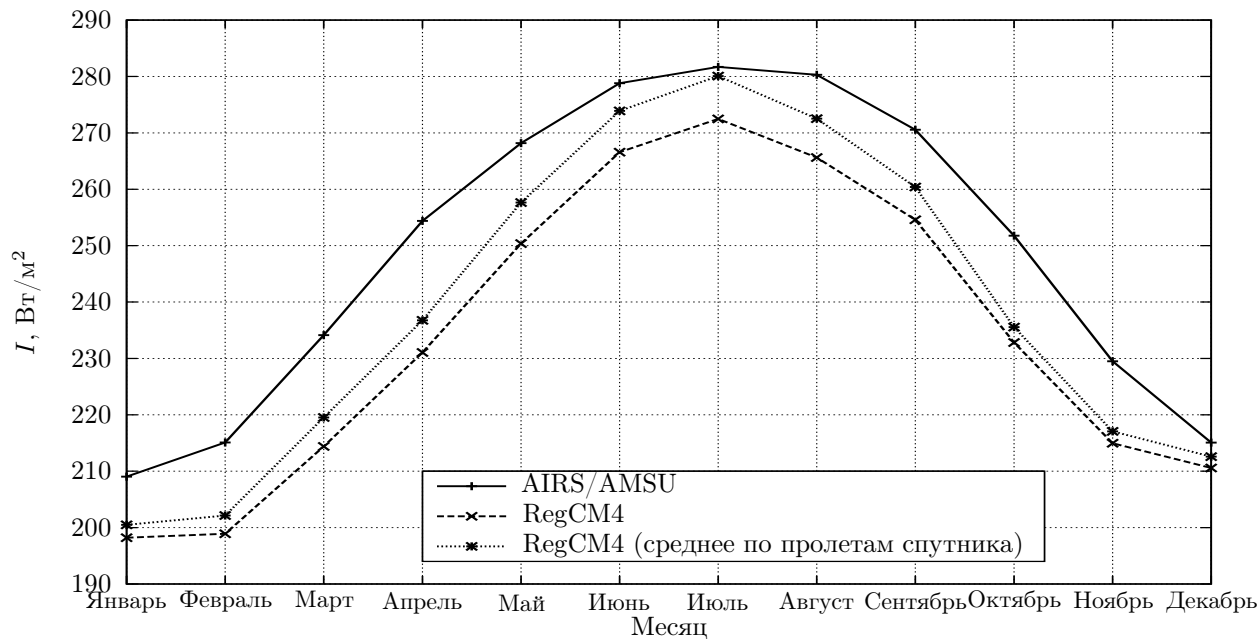


Рис. 4. Годовой ход интенсивности УДИ для территории Алтайского края по данным гиперспектрального комплекса AIRS/AMSU и результатам климатической модели RegCM4 для периода 2003–2012 гг. (линии, как на рис. 3)

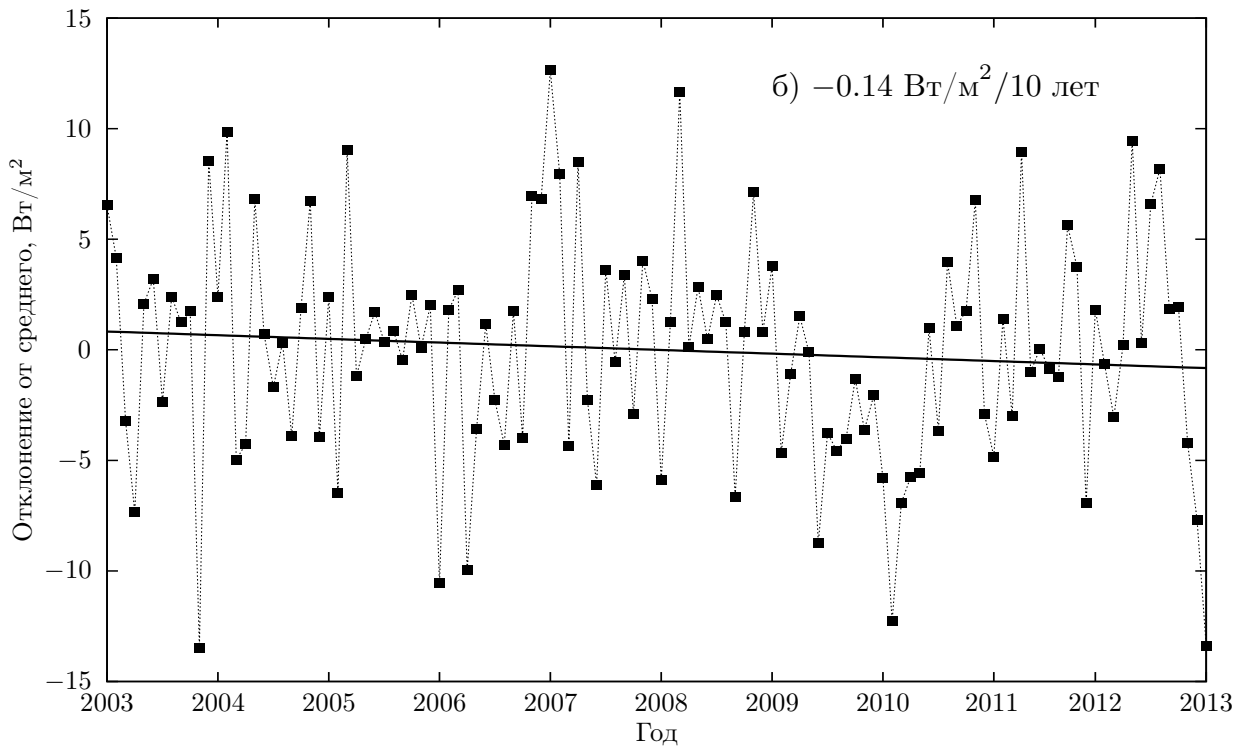
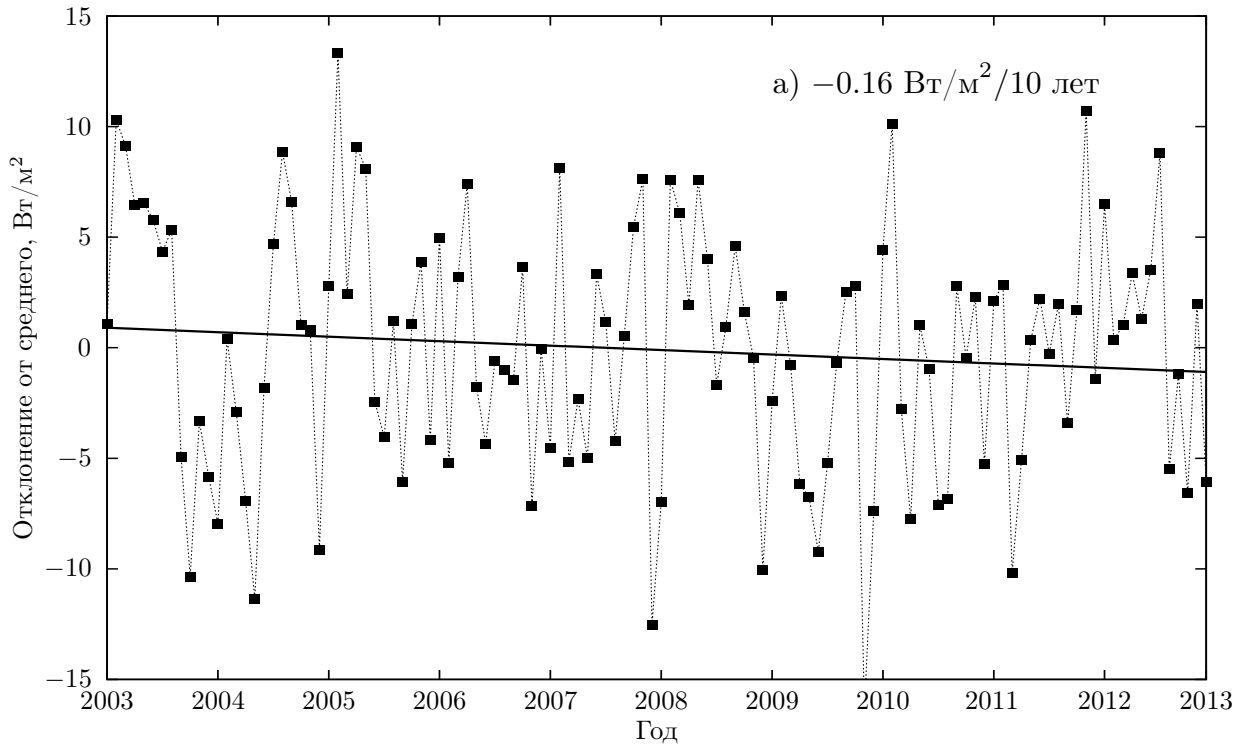


Рис. 5. Скорость изменения аномалий интенсивности УДИ для территории Алтайского края для периода 2003–2012 гг.: а) — по результатам модели RegCM4; б) — по данным гиперспектрального комплекса AIRS/AMSU

2. Гиперспектральный комплекс AIRS/AMSU. Сегодня зондирующий комплекс AIRS/AMSU на платформе спутника Aqua включает 4 прибора: 2378-канальный ИК-зондировщик AIRS [3], 4-канальный спектро-радиометр AIRS/VisNIR [17], а так же 13-канальный микроволновой радиометр AMSU-A1 и 2-канальный AMSU-A2 [18]. Использование данных микроволновых радиометров, обладающих низкой чувствительностью к основной части присутствующих в атмосфере облачных структур, при обработке показаний ИК-зондировщика AIRS высокого спектрального разрешения позволяет этому комплексу осуществлять восстановление вертикальных профилей атмосферы с требуемой сегодня для прогнозирования точностью даже при почти 80% закрытии зоны наблюдения облаками [2]. Исчерпывающий обзор о назначении радиометров комплекса AIRS/AMSU, их технических характеристиках, алгоритмах обработки данных и др. представлен в [19].

В данной работе использовались данные двух вычислительных пакетов: программного комплекса AIRS/AMSU версии 5.2.1.0, развернутого в отделе космического мониторинга АлтГУ (лицензия GSFC/NASA), и комплекса AIRS/AMSU версии 6.2.2.0. Данные последнего доступны на сайте [20].

3. Результаты и выводы. На рисунке 3 для периода 2003–2012 гг. представлены среднесуточные значения интенсивности УДИ для территории Алтайского края по данным гиперспектрального комплекса AIRS/AMSU (сплошная линия на графике) и результатам климатической мо-

дели RegCM4 (пунктирная линия на графике). Видно, что модель RegCM4 занижает данные по интенсивности излучения на $\sim 15\text{--}20 \text{ Вт/м}^2$. Точечной линией на этом графике показаны значения интенсивности УДИ по результатам RegCM4, усредненные по времени пролета спутника (в районе 4:00 и 13:00 часов местного времени). Нетрудно заметить, что при таком усреднении разница между модельными и спутниковыми данными становится существенно меньше и составляет $\sim 10 \text{ Вт/м}^2$.

Анализ годового хода УДИ для территории Алтайского края для периода 2003–2012 гг. (рис. 4) показал, что в летние месяцы отклонение результатов модели RegCM4 от данных AIRS/AMSU минимально и составляет $\sim 2\text{--}8 \text{ Вт/м}^2$. Для других сезонов эта разница увеличивается до $\sim 15\text{--}20 \text{ Вт/м}^2$.

На рисунке 5 представлены среднемесячные значения аномалий интенсивности УДИ, полученные по данным RegCM4 (усредненные по времени пролета спутника) и результатам гиперспектрального комплекса AIRS/AMSU. Установлено, что скорость изменения аномалий интенсивности УДИ для территории Алтайского края для периода 2003–2012 гг. составляет $-0.16 \text{ Вт/м}^2/10 \text{ лет}$ по данным региональной климатической модели RegCM4 и $-0.14 \text{ Вт/м}^2/10 \text{ лет}$ — по данным комплекса AIRS/AMSU.

Главным результатом работы является вывод о возможности применения модели RegCM4 для определения характера возможных изменений аномалий интенсивности УДИ для Сибирского региона.

Библиографический список

1. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
2. Suskind J., Barnet C.D., Blaisdell J.M. Retrieval of atmospheric and surface parameters from AIRS/AMSU/HSB data in the presence of clouds // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. — 2003. — №2.
3. Aumann H.H., Chahine M.T., Gautier C., et al. AIRS/AMSU/HSB on the Aqua mission: design, science objectives, data products, and processing systems // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. — 2003. — №2.
4. Susskind J., Molnar G., Iredell L., Loeb N.G. Interannual variability of outgoing longwave radiation as observed by AIRS and CERES // Journal of Geophys. Res. — 2012.
5. Giorgi F., Coppola E., Solmon F. et al. RegCM4: Model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains // Clim. Res. — 2012.
6. Pal J.S., Giorgi F., Xunqiang B. et al. Regional climate modeling for the developing world: the ICTP RegCM3 and RegCNET // Bull. Amer. Meteor. Soc. — 2007.
7. Лагутин А.А., Волков Н.В., Мордвин Е.Ю., Резников А.Н. Моделирование климата Западной Сибири: результаты модели RegCM4 // Известия Алт. гос. ун-та. — 2012. — №1/1(73).
8. Лагутин А.А., Волков Н.В., Мордвин Е.Ю. Моделирование климата Сибирского региона: результаты модели RegCM/CLM для 1970–2029 гг. // Вестник Алтайской науки. — 2013. — №1.

9. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R. et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bull. Amer. Meteor. Soc. — 1996.
10. Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J. et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system // Q. J. R. Meteorol. Soc. — 2011.
11. EH5OM global data for ICTP RegCM4. [Electronic resource]. URL: <http://users.ictp.it/pubregcm/RegCM4/globedat.html>
12. IPCC 2000. Special report on emissions scenarios. Nakicenovic N., Davidson O., Davis G. et al. (eds). New York, 2000.
13. Dickinson R.E., Errico R.M., Giorgi F., Bates G.T. A regional climate model for the western United States // Climatic Change. — 1989.
14. Oleson K.W., Niu G.-Y., Yang Z.-L. et al. Improvements to the Community Land Model and their impact on the hydrological cycle // J. Geophys. Res. — 2008. — №G01021.
15. Holtslag A.A.M., de Bruijn E.I.F., Pan H.-L. A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting // Mon. Wea. Rev. — 1990.
16. Grell G. Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations // Mon. Wea. Rev. — 1993.
17. Gautier C., Shiren Y., Hofstadter M.D. AIRS/Vis Near IR instrument // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. — 2003. — №2.
18. Lambriksen B. H. Calibration of the AIRS microwave instruments // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. — 2003. — №2.
19. Лагутин А.А., Никулин Ю.А., Лагутин Ал.А. и др. Математические технологии оперативного регионального спутникового мониторинга характеристик атмосферы и подстилающей поверхности. Ч. 2. AIRS // Выч. технол. — 2007. — №5.
20. NASA AIRS data FTP [Электронный ресурс]. — URL: <ftp://airspar1u.ecs.nasa.gov>