

КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Полина Владимировна Воронина

Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник, тел. (383)330-78-26, e-mail: pol.voronina@gmail.com; Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, доцент

Игорь Алексеевич Пестунов

Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, тел. (383)334-91-55, e-mail: pestunov@ict.sbras.ru

Светлана Яковлевна Кудряшова

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 8/2, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)363-90-33, e-mail: sya55@mail.ru

Представлены результаты исследования температурного режима почв Новосибирской области для проведения картографического моделирования по данным спутникового зондирования.

Ключевые слова: MODIS, обработка спутниковых данных, температура поверхности, картографическое моделирование почв

CARTOGRAPHIC MODELING OF LAND SURFACE TEMPERATURE FIELDS OF THE NOVOSIBIRSK REGION ACCORDING TO REMOTE SENSING DATA

Polina V. Voronina

Federal Research Center for Information and Computational Technologies, 6, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Researcher, phone: (383)330-78-26, e-mail: pol.voronina@gmail.com; Novosibirsk State University, 2, Pirogova St., Novosibirsk, 630090, Russia, Associate Professor

Igor A. Pestunov

Federal Research Center for Information and Computational Technologies, 6, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Leading Researcher, phone: (383)334-91-55, e-mail: pestunov@ict.sbras.ru

Svetlana Ya. Kudryashova

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, 8/2, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Senior Researcher, phone: (383)363-90-33, e-mail: sya55@mail.ru

The results of the study of the land surface temperature regime of the Novosibirsk region for cartographic modeling based on satellite sensing data are presented.

Keywords: MODIS, satellite remote sensing data processing, Land Surface Temperature (LST), statistical deviations, soil cartographic modeling

Введение

Построение картографических моделей температурных полей земной поверхности и оценка их информативности позволяет выделить климатические особенности регионального почвенного климата, выявить уникальность климата почв и указать степень возможного сельскохозяйственного и производственного назначения земельного фонда [1–4].

Данные космической съёмки в тепловом инфракрасном диапазоне могут выступать одним из источников информации в процессе изучения температуры поверхности Земли [5–7]. В качестве таких материалов могут быть, например, снимки, полученные с помощью спектрорадиометра MODIS, установленного на спутниках Terra и Aqua. Преимущество использования таких данных заключается в регулярной повторяемости съёмки и значительном охвате изучаемой, порой труднодоступной, территории [8, 9].

Картографические модели термических ресурсов, построенные по анализу пространственно-временных рядов спутниковых данных, востребованы в различных сферах деятельности человека. Для Новосибирской области, представляющей собой сложный природно-антропогенный комплекс, оценка теплообеспеченности земельного фонда способствует повышению эффективности использования всех категорий земель, независимо от их целевого назначения, а его температурный режим является одним из инструментов в исследовании экологического состояния территории [10–14].

Целью настоящей работы является картографирование температурных полей земной поверхности в границах Новосибирской области по данным дистанционного зондирования среднего пространственного разрешения для исследования температурного режима. Для реализации сформулированной цели предлагается проанализировать пространственно-временные ряды температур, полученные после обработки спутниковых снимков, для различных временных интервалов, провести агрегацию для различных временных интервалов. Среднегодовая температура поверхности Земли является простейшим метеорологическим элементом, в котором, как в фокусе, отражены важнейшие физические процессы, происходящие в атмосфере и в почве. Таким образом, среднегодовая поверхностная температура является индикатором особенностей почвенного климата и взаимодействия с двумя взаимопроникающими средами – почвенной и растительной.

Характеристика территории исследования

Новосибирская область располагается непосредственно в центре России в глубине обширного евразийского континента на юго-востоке Западно-Сибирской равнины. Долина Оби разделяет ее на две неравные части, из которых наиболь-

шая (западная) представляет однородную равнину, меньшая (восточная) – всхолмлённые возвышения с определённым ростом высот в восточном и особенно в юго-восточном направлениях. Площадь территории области 177,76 тыс. км². Протяжённость области с запада на восток – 642 км, с севера на юг – 444 км, располагается между 54°44' и 57°12' с. ш. Область расположена в зонах южной тайги, смешанных лесов и лесостепи (рис. 1). Климат Новосибирской области определяется как суровый с продолжительной холодной зимой и коротким жарким летом. Суровость климата в первую очередь обеспечивается особенностями погодного режима в зимний период. В то же время строение рельефа внутренних частей и особенности подстилающей поверхности формируют местные климато-экологические различия, которые выражаются в характере растительности, снежного и почвенного покровов, густоте водной сети и т. д. [11].

Материалы исследования

Традиционная выгрузка отдельных сцен из архивов и подключение к геоинформационной системе позволяет визуализировать данные в виде наборов тематических слоев, но затрудняет одновременное использование большого числа спутниковых снимков с применением сложных функций их обработки. В результате работа с данными, имеющими не только пространственное, но и временное распределение, затруднена, а к их числу, в частности, относятся все материалы, производимые системами спутникового мониторинга.

В данной работе использовалась предложенная в [15] технология hVault, которая обеспечивает виртуальную интеграцию содержащихся в архиве данных в реляционной СУБД. В основе этой технологии лежит принцип представления данных в виде набора таблиц, с данными спутниковых изображений или построенных на их основе информационных продуктов, с последующей реализацией алгоритмов анализа пространственно-временных рядов средствами СУБД. Отображение этих данных в таблицы производится следующим образом: каждой точке ставится в соответствие кортеж с географическими координатами, временным интервалом наблюдений и последовательность значений измеренных величин. В таком представлении извлечение и преобразование данных производится с помощью SQL-запросов, при этом для пользователя не имеет значение ни исходный формат хранения данных, ни их разделение на отдельные файлы. Программный модуль, реализующий этот принцип, разработан как расширение свободно распространяемой СУБД PostgreSQL [15, 16].

Для решения поставленной задачи использовались продукты, получаемые в результате обработки данных приборов MODIS/Terra. Значения температуры восстанавливались на основе алгоритма [17] по измерениям интенсивности инфракрасного излучения, регистрируемого в каналах 31 (10.78-11.28 мкм) и 32 (11.77-12.27 12 мкм) (продукты MOD11A1). Данные в MOD11A1 представлены на регулярной сетке в синусоидальной проекции с размером ячейки ~1 км. При безоблачных атмосферных условиях наблюдения алгоритм [17] обеспечивает точность восстановления температуры поверхности в пределах 1 К.

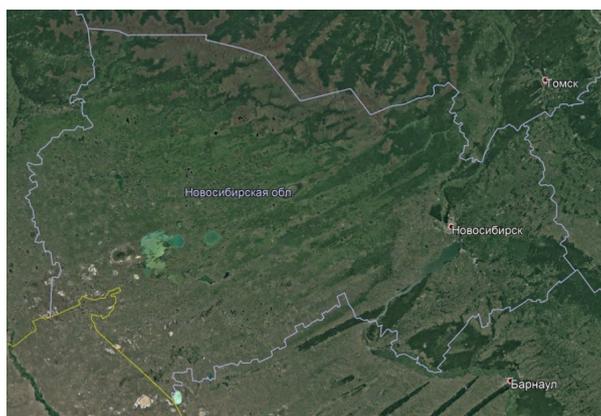


Рис. 1. Новосибирская область – территория исследования (Google Earth Pro)

Анализ пространственно-временных рядов температуры поверхности территории Новосибирской области проведен по рассчитанным средним значениям температуры, измеренной в ночное и дневное время и их разности в точке, для каждого календарного года с 2001 по 2014 гг. в (данные взяты из архива ФИЦ ИВТ). Область интересов ограничена параллелями от $53^{\circ}3'$ с. ш. до $57^{\circ}25'$ с. ш. и меридианами от 75° в. д. до $85^{\circ}1'$ в. д. Это около 400000 точек, сформированных в одномерный массив. Для вычисления среднего значения в точке за год использовалось 365 снимков, среднее значение в точке за 14 лет вычислялось уже по посчитанным среднегодовым массивам. Это сделано для ускорения расчетов.

Обсуждение результатов

Среднегодовая температура поверхности почвы представляет метеорологический элемент, отражающий особенности теплообмена на протяжении года и зависит от интенсивности солнечной радиации, особенностей циркуляции атмосферы и физических характеристик почвенного покрова.

На рис. 2 представлено распределение усредненной среднегодовой температуры поверхности земли в системе зональных типов климата Новосибирской области. Сначала определено среднее значение температуры в точке по данным за один календарный год за период 2001–2014 гг., далее найдено среднее за 2001–2014 гг. по результатам съемки в ночное и дневное время. Те же действия проведены для разности дневной и ночной температуры поверхности. Отчетливо прослеживается широтная зональность распределения температуры поверхности с юга на север от зоны типичной степи до зоны южной тайги (рис. 2, а, б). В пределах зональных подразделений также могут быть выделены подзональные типы почвенных климатов Барабинской низменности – в северной подзоне распространены подзолистые и серые лесные почвы, лугово-черноземные солонцеватые и солончаковатые занимают ее центральную часть, и черноземы, выщелоченные и обыкновенные с остаточной солонцеватостью, преобладают в южной подзоне лесостепи [11–13]. Температурные поля с близкими значениями температур, ко-

торые отмечаются на карте области, могут характеризовать разнообразие ландшафтных, антропогенных и других типов климата. Отмечаются термические ресурсы, не нашедшие отражения в генерализации зонального районирования, но которые могут быть выделены на картографических моделях, как имеющие самостоятельное экологическое значение. Средняя разность дневных и ночных температур меняется от больших на юге области к меньшим на севере, опять с четко выраженной широтной зональностью.

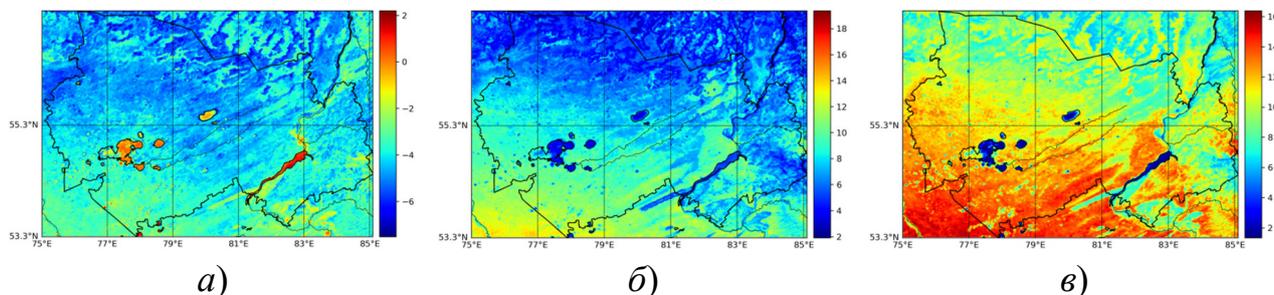


Рис. 2. Распределение усредненной среднегодовой температуры поверхности территории Новосибирской области за период 2001–2014 гг.:
 а) данные ночной съемки; б) данные дневной съемки; в) разность данных дневной съемки и ночной

Для получения оценки пространственной структуры температуры поверхности территории с позиции ее неоднородности по средней температуре в точке за годовой период проведено вычисление средней температуры по области по данным ночной и дневной съемки и вычисление их разности (рис. 3). По данным ночной съемки самая низкая минимальная средняя температура была в 2010 и 2012 гг., а самая высокая максимальная – в 2002 г. и чуть ниже в 2003 г. По данным дневной съемки самая низкая средняя температура была в 2010 г., а самая высокая – в 2010 и 2012 гг., что отмечается и в [11].

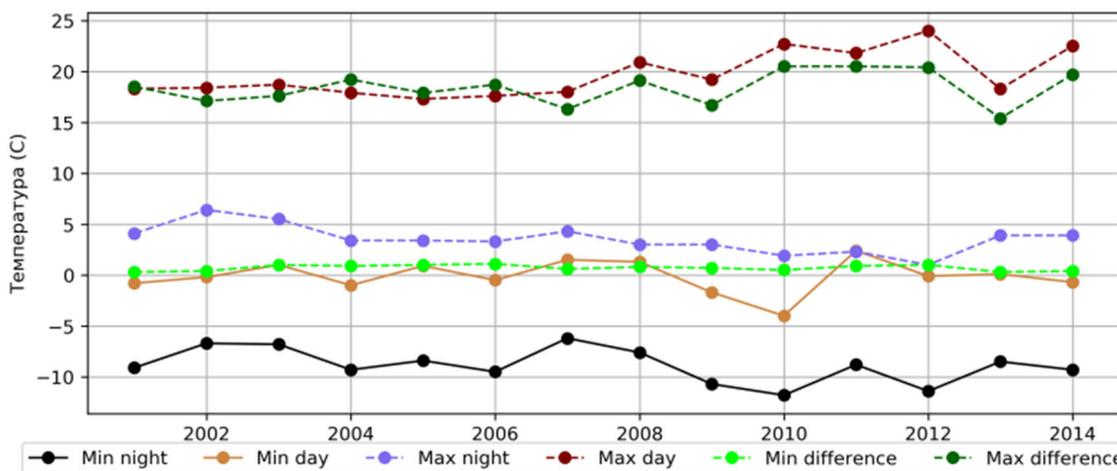


Рис. 3. Усредненная по области средняя температура за календарный год по данным ночной и дневной съемок и их разность

По данным режимной сети Гидрометслужбы среднегодовая температура почвы на её поверхности изменяется на 1–2°C, и при этом строго прослеживается зональность: 0°C – в подтайге, 1°C – в лесостепи и 2°C – в степи. Отмечается, что температуры поверхности засоленных почв на 1°C ниже, чем на незасоленных автоморфных.

На рис. 4 показано распределение средней температуры по данным ночной, дневной съемки и их разности для 2002 г. Отчетливо просматривается классическая широтная зональность распределения температуры поверхности, что весьма характерно для юго-востока Западной Сибири. На температуру поверхности оказывает влияние тип почвы, характер её засоления, гранулометрический состав.

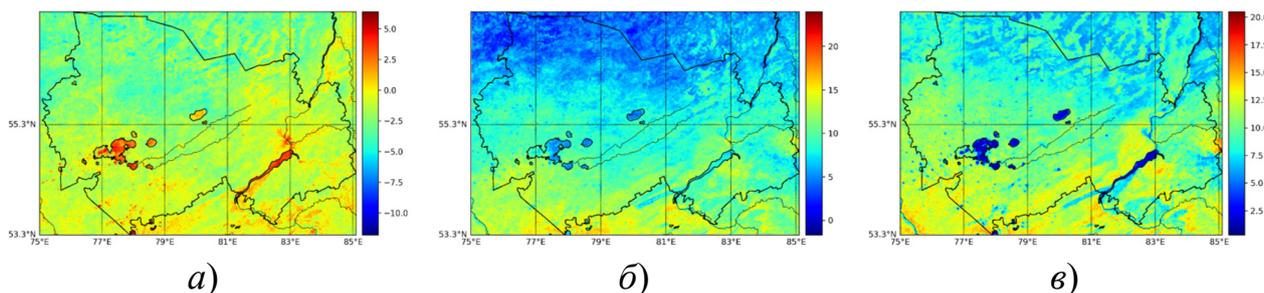


Рис. 4. Распределение средней температуры за 2002 г.:

а) данные ночной съемки; б) данные дневной съемки; в) разность данных дневной съемки и ночной

Заключение

Картографические модели термических ресурсов, полученные по результатам анализа пространственно-временных рядов спутниковых данных среднего пространственного разрешения Terra/MODIS, востребованы в различных сферах жизнедеятельности человека, в частности, для оценки теплообеспеченности земельного фонда Новосибирской области. Такая оценка дает возможность эффективного использования всех категорий земель, независимо от их целевого назначения. Изучение температуры подстилающей поверхности позволяет выявить особенности почвенного климата, что важно для рассмотрения экологических процессов и их взаимодействия с двумя взаимопроникающими средами – почвенной и растительной. Полученные в ходе исследования результаты могут послужить основой для районирования территории области по степени безопасности природопользования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kudryasheva S.Ya., Chumbaev A.S., Pestunov I.A., Sinyavskiy Y.N., Chubarov D.L., Bezborodova A.N., Ermakov N.B. Cartographic Modeling of Soil Temperature Fields for Middle Siberia Transect Based on Conjoint Analysis of Automated Ground-based and Satellite Temperature Data // CEUR Workshop Proceedings. 2020. Vol. 2534. P. 124-131. URL: http://ceur-ws.org/Vol-2534/21_short_paper.pdf (дата обращения 15 мая 2021).

2. Воронина П.В., Чубаров Д.Л., Добрецов Н.Н. Тепловые аномалии Барабинской низменности. Первые результаты // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2019. Т. 4. № 1. С. 28-36.
3. Воронина П.В., Чубаров Д.Л., Добрецов Н.Н. Анализ временных рядов температуры поверхности Земли // В сборнике: Труды Международной конференции «Вычислительная математика и математическая геофизика», посвященной 90-летию со дня рождения академика А. С. Алексеева. 2018. С. 108-114.
4. Voronina P.V., Chubarov D.L., Dobretsov N.N. The Study of the Temperature Regime of the Novosibirsk Agglomeration According to the Satellite Sensing Data // CEUR Workshop Proceedings, 2020. Vol. 2534. P. 327-333. URL: http://ceur-ws.org/Vol-2534/55_short_paper.pdf (дата обращения 15 мая 2021).
5. Voogt J.A., Oke T.R. Thermal remote sensing of urban climates // Remote Sensing of Environment. 2003. No. 86. P. 370-384.
6. Weng Q. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2009. No. 64. P. 335-344.
7. Weng Q., Quattrochi D.A. Thermal remote sensing of urban areas: An introduction to the special issue // Remote Sensing of Environment. 2006. No. 104. P. 119-122.
8. Cheval S., Dumitrescu A. The July urban heat island of Bucharest as derived from MODIS images // Theoretical and Applied Climatology. 2009. No. 96. P. 145-153.
9. Pu R., Gong P., Michishita R., Sasagawa T. Assessment of multi-resolution and multi-sensor data for urban surface temperature retrieval // Remote Sensing of Environment. 2006. No. 104. P. 211-225.
10. Почвенно-климатический атлас Новосибирской области. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978. – 121 с.
11. Воронина Л.В., Гриценко А.Г. Климат и экология Новосибирской области. – Новосибирск: СГГА, 2011. – 228 с.
12. Кравцов В.М., Донукалова Р.П. География Новосибирской области. – Новосибирск: Инфолио-пресс, 1999. – 205 с.
13. Западно-Сибирская низменность. – М.: География, 1963. – 262 с.
14. Кузнецов А.В., Кузнецов Н.А. Охотничьи угодья Новосибирской области. – Новосибирск: Новосибирское книжное издательство, 1987. – 232 с.
15. Шокин Ю.И., Добрецов Н.Н., Мамаш Е.А., Кихтенко В.А., Воронина П.В., Смирнов В.В., Чубаров Д.Л. Информационная система приема, обработки и доступа к спутниковым данным и ее применение для решения задач мониторинга окружающей среды // Вычислительные технологии. 2015. Т. 20. № 5. С. 157-174.
16. Shokin Y.I., Pestunov I.A., Chubarov D.L., Kikhtenko V.A., Mamash E.A., Dobretsov N.N., Voronina P.V., Sinyavsky Y.N. Information System for Satellite Data Acquisition, Archiving and Analysis as an Instrument for Monitoring of Objects of Artificial and Natural Origin // CEUR Workshop Proceedings. 2020. Vol. 2534. P. 229-240. URL: http://ceur-ws.org/Vol-2534/39_short_paper.pdf (дата обращения 15 мая 2021).
17. Wan Z., Dozier J.A generalized split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from space // IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing. 1996. Vol. 34. No. 4. P. 892-905.

© П. В. Воронина, И. А. Пестунов, С. Я. Кудряшова, 2021