

2. Шиканов Е.А., Жуйков Ю.Ф., Пряхин В.Н. Использование нейтронных генераторов для контроля повышения нефтеотдачи скважин при ультразвуковом воздействии / Атомная энергия, 2004. – Т. 97 (3). – С. 222–224.
3. Богданович Б.Ю., Нестерович А.В., Шиканов А.Е. и др. Дистанционный радиационный контроль с линейными ускорителями. Т.1. М. Энергоатомиздат, 2009, 272 с.; т.2.М., Машиностроение, 2012. – 284 с.
4. Anan'in O.B., Kozlovsky K.I., Tsybin A.S., Shikanov A.E. Atomic Energy, 2013, 115(2), pp. 137–141.
5. Ляпидевский В.К. Методы детектирования излучений / В.К. Ляпидевский // М.: Энергоатомиздат, 1987. – 256 с.
6. Ильинский А.В., Кедров А.И., Михайлов В.А., Шиканов А.Е. Аппаратурно-методический комплекс каротажа нефтегазовых скважин методом активации кислорода // Атомная энергия, 2004. – Т. 97 (5). – С. 355–361.
7. Замятин Ю.С., Шиканов А.Е. 50 лет импульсному нейтронному каротажу (1955–1958 гг., Г.Н. Флеров). Сообщения ОИЯИ, РЗ–2007–151, Дубна, 2007. – 34 с.
8. Власов Н.А. Нейтроны / Н.А. Власов // М.: Наука, 1971. – 552 с.
9. Худсон Д. Статистика для физиков / Д. Худсон // М.: МИР, 1970. – С. 27–89.

STUDY OF ECOLOGICAL STATE OF ENVIRONMENT USING LASER NEUTRON GENERATOR

M.A. Gorbunov², A.V. Ilyinskiy¹, K.I. Kozlowskii², A.Y. Kuznetsov¹,
R.P. Pleshakova¹, A.E. Shikanov², E.A. Shikanov³, E.Y. Shkolnikov²,
O.V. Yakovlev²

¹*Institute of Ecological, Geophysical and Radiation Technology, Moscow, 127434, Russia,
e-mail: n916514552@yandex.ru*

²*National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, 142115, Russia,
e-mail: aeshikanov14@mail.ru*

³*LLC «Spetsavtoinzhiniring», Moscow, 115201, Russia, e-mail: eshikanov@mail.ru*

Abstract.

The issues of monitoring ecological state of the environment by a nuclear non-contact method using a pulsed neutron generator based on accelerating tube with laser source of deuterons are considered. The issues of correction of indications of detection system, taking into account its «dead time», are considered. An example of using proposed technique for controlling soil moisture is given.

УДК 528.873.041.3

ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ РАЗЛИЧИЙ НАЗЕМНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ГЕОСИСТЕМ ОСТРОВА КУНАШИР (БОЛЬШАЯ КУРИЛЬСКАЯ ГРЯДА)

М.Ю. Грищенко^{1,2,3}, П.Г. Михайлюкова⁴

^{1,4}*МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, 119991, Россия,
e-mail: ¹m.gri@geogr.msu.ru, ⁴p.mikhaylyukova@geogr.msu.ru*

²*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
г. Москва, 109028, Россия*

³*Государственный природный заповедник «Курильский», Сахалинская область,
пос. Южно-Курильск, 694500, Россия*

Изучение температурного поля территории – распространённая географическая задача. Как правило, она решается на основе данных контактных измерений темпе-

ратуры воздуха или почвы на стационарных пунктах наблюдения, которые могут представлять собой метеорологические станции и посты разного типа. Приборная база может быть упрощена за счёт использования температурных датчиков, установленных в соответствии с общепринятыми правилами (на высоте 2 м над поверхностью земли в тени) [1]. При использовании результатов контактных измерений выполняется интерполяция их значений различными методами, что является темой отдельного блока исследований [2]. Тепловые космические снимки открывают возможности работы с пространственно непрерывными температурными данными. Если контактные (наземные) измерения носят дискретный характер и дают информацию о температуре только в некоторой точке пространства, то спутниковые (космические) данные позволяют в один момент времени получить значение температуры для обширной территории, размер которой определяется характеристиками съёмочной аппаратуры. И если при изучении температурного режима больших по площади территорий (крупных географических регионов, частей континентов) тепловые космические снимки используются весьма широко в силу очевидного удобства [3], то при изучении небольших географических объектов эффективность применения тепловых космических снимков пока не так очевидна. Тепловые космические сенсоры фиксируют не собственно температуру объектов земной поверхности, а интенсивность теплового излучения, вопросы перехода от которой к температуре являются предметом научных дискуссий [4]. Настоящая работа является логическим продолжением исследования, посвящённого оценке пространственно–временной неоднородности теплового поля острова Кунашир Большой Курильской гряды [5]. Площадь острова составляет 1500 км², и для изучения пространственно–временной дифференциации его температурного поля представляют интерес тепловые космические снимки высокого пространственного разрешения. В настоящее время наиболее высокое пространственное разрешение (100 м) имеют тепловые каналы съёмочной системы TIRS, работающей на спутнике Landsat 8. По оценкам разных научных групп, точность измерений температуры разных типов поверхности по этим данным составляет 1–2 К [6–9]. Наше исследование имеет целью не только общую оценку связи наземных и космических температурных данных, но и анализ её пространственной дифференциации в зависимости от характеристик геосистем, в которых установлены наземные температурные датчики.

Для выполнения наземных измерений использованы температурные датчики iButton DS1922L–F5#, точность которых составляет $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ при температурах от -10°C до $+65^{\circ}\text{C}$. Измерения проведены с 2015 г. по 2018 г.

За этот же период проанализирован архив космических снимков со спутника Landsat 8, в результате чего отобрано 28 безоблачных изображений на остров Кунашир. Использован 10 канал съёмочной системы TIRS (спутник Landsat 8), т.к. в диапазоне 10,3–11,3 мкм изображения меньше подвержены влиянию рассеянного теплового излучения [10].

Расчет значений температуры по данным Landsat 8 выполнен в несколько этапов, включающих:

- а) перевод значений яркости в значения спектральной плотности излучения;
- б) атмосферная коррекция;
- в) перевод значений спектральной плотности излучения в значения температуры.

При сопоставлении наземных и спутниковых данных необходимо учитывать, что наземные измерения получены на некоторой высоте от земной поверхности и характеризуют температуру приземного слоя атмосферного воздуха, в то время как спутниковые измерения характеризуют температуру поверхности зондируемого объекта, которая в разных геосистемах может являться поверхностью крон деревьев,

поверхностью травяно–кустарничкового яруса либо поверхностью открытых грунтов.

Сопоставление наземных и спутниковых измерений выполнено на основе регрессионного анализа. Из набора наземных измерений, частота которых составляет 1 час, выбраны значения, близкие ко времени выполнения космической съемки. Затем сформирована выборка из спутниковых и наземных измерений – для каждой точки, для которой был установлен температурный датчик, извлечён набор значений температуры. Для каждой пары (наземное измерение – спутниковое измерение) вычислена разность значений. Если разность превышала 2°C , то такая пара в регрессионном анализе не участвовала, чтобы исключить влияние тех пар измерений, на точность которых могли повлиять условия съёмки, не всегда определяемые при визуальном анализе космического снимка (например, наличие тонкой перистой облачности, дымки и др.). Таковых оказалось 41 (около 50% от первоначальной выборки), а количество измерений, участвующих в регрессионном анализе составило 37. При статистическом анализе этих данных установлено, что для 19 измерений (51%) разность между наземными и спутниковыми данными температуры не превышает 1°C , при этом для 12 (32% от объема первоначальной выборки) из них разность не превышает $0,5^{\circ}\text{C}$.

Минимальные значения разности между космическими и наземными измерениями значений температуры характерны, в основном, для отрицательных температур. Так, из 12 измерений, разность которых не превышает по модулю $0,5^{\circ}\text{C}$, 10 измерений (83%) приходится на пары измерений с температурой ниже 0°C . Таким образом, можно заключить, что максимальная точность измерения температуры поверхности спутниковыми методами достигается в зимний сезон при отрицательных температурах. Это подтверждается и результатами исследований тепловых полей городов и является, по–видимому, общим правилом [11]. В летнее время бóльшая изменчивость атмосферы и разная дискретность наземных и спутниковых измерений может обуславливать различия в значениях температур, полученных двумя рассматриваемыми методами.

В ландшафтном отношении точки, для которых разность между спутниковыми и наземными измерениями не превышает $0,5^{\circ}\text{C}$, приурочены главным образом к участкам с густой лесной растительностью, а также к Северо–Западному сольфатарному полю вулкана Менделеева. Впрочем, этого ещё не достаточно для того, чтобы сделать вывод о том, что для этих участков адекватность воспроизведения температуры максимальна. Для этих же точек характерны и большие значения разности, особенно это касается сольфатарного поля. При этом пары измерений, исключенные из статистического анализа (разность значений температур превышает 2°C) включают те точки, которые расположены на открытых пространствах с отсутствием плотной древесной растительности. Наибольшие значения разности характерны для точки в пос. Южно–Курильск, где они достигают 15°C . Большие значения разности характерны также для окрестностей сольфатарных полей, редколесий и окрестностей кордонов заповедника. Интересно, что пары значений, разница для которых превышает 5°C , приурочены исключительно к окрестностям хозяйственных объектов заповедника «Курильский», при том, что размер и интенсивность хозяйственной деятельности на них не настолько значительны, чтобы оказывать какое–либо выраженное влияние на местный климат.

Строгой зависимости точности определения значений температуры по данным Landsat 8 от ландшафтных особенностей местности не выявлено. Сложная структура природных объектов, включающая чередование густой лесной растительности с участками луговых сообществ и скальных выходов, наличие водных объектов обуславливает осреднение в пределах пиксела изображения значений температур разных по своей природе объектов, в то время как наземные измерения фиксируют тем-

пературу фактически в точке местности. Это также может являться причиной больших расхождений между наземными и спутниковыми измерениями.

В результате регрессионного анализа полученной выборки измерений установлена хорошая связь между спутниковым и наземными измерениями. Стандартная ошибка составила 0,95. Коэффициент R^2 (коэффициент детерминации) равен 0,99, что свидетельствует о тесной связи наземных и спутниковых измерений, а это, в свою очередь, подтверждает высокую точность определения температуры по космическим снимкам.

Таким образом, можно заключить, что данные 10 теплового канала съёмочной системы TIRS, работающей на спутнике Landsat 8, являются достаточно точным источником информации о температуре поверхности природных объектов. На примере разных районов острова Кунашир показано, что точность измерений для разных природных объектов практически одинакова и в большинстве случаев не превышает 1°C. Установлено, что максимальная точность измерений достигается в зимнее время при отрицательных температурах. Закономерность дифференциации значений разности результатов наземных и спутниковых измерений в зависимости от ландшафтных характеристик местности установить довольно сложно; тем не менее, можно заметить, что наименьшие значения разности характерны для участков с густой древесной растительностью, а наибольшие приурочены к населённым пунктам, окрестностям сольфатарных полей и хозяйственных объектов природоохранного назначения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-00715 А.

Список литературы:

1. Константинов П.И., Грищенко М.Ю., Варенцов М.И. Картографирование островов тепла городов Заполярья по совмещенным данным полевых измерений и космических снимков на примере г. Апатиты (Мурманская область) // Исследование Земли из космоса, 2015. – № 3. – С. 27–33.
2. Stahl K., Moore M.D., Floyer J.A., Asplin M.G., McKendrya I.G. Comparison of approaches for spatial interpolation of daily air temperature in a large region with complex topography and highly variable station density // Agricultural and Forest Meteorology, 2006, Vol. 139, Is. 3–4, pp. 224–236.
3. Mathew A., Khandelwal S., Kaul N. Analysis of diurnal surface temperature variations for the assessment of surface urban heat island effect over Indian cities // Energy and Buildings, 2018, Vol. 159, pp. 271–295.
4. Корниенко С.Г. Изучение трансформаций тундрового почвенного покрова на участках пирогенного поражения по данным спутников Landsat // Криосфера Земли, 2017. – Т. XXI. № 1. – С. 93–104.
5. Грищенко М.Ю., Чернулич К.К. Исследование связи наземных и космических температурных данных на примере островов Врангеля и Кунашир // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка, 2019. – Т. 63, № 5. – С. 566–575.
6. Cristobal J., Jimenez-Munoz J.C., Prakash A., Mattar C., Skokovic D., Sobrino J.A. An Improved Single-Channel Method to Retrieve Land Surface Temperature from the Landsat-8 Thermal Band // Remote sensing, 2018, Vol. 10, pp. 431.
7. Duan S.-B., Li Z.-L., Wang C., Zhang S., Tang B.-H., Leng P., Gao M.-F. Land-surface temperature retrieval from Landsat 8 single-channel thermal infrared data in combination with NCEP reanalysis data and ASTER GED product // International Journal of Remote Sensing. 2018. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1460513>

8. Kafer P.S., Rolim S.B.A., Iglesias M.L., da Rocha N.S., Diaz L.R. Land Surface Temperature Retrieval by LANDSAT 8 Thermal Band: Applications of Laboratory and Field Measurements // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2019, Vol. 12, Is. 7, pp. 2332–2341.
9. Wang L., Lu Y., Yunlong Y. Comparison of Three Algorithms for the Retrieval of Land Surface Temperature from Landsat 8 Images // Sensors, 2019, Vol. 19, No. 22, pp. 5049.
10. Using the USGS Landsat Level-1 Data Product. U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey: Landsat Missions. [Официальный сайт Геологической службы США]. URL: <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/using-usgs-landsat-level-1-data-product> (дата обращения: 11.02.2021).
11. Varentsov M.I., Grishchenko M.Y., Wouters H. Simultaneous assessment of the summer urban heat island in moscow megacity based on in situ observations, thermal satellite images and mesoscale modeling // Geography, Environment, Sustainability, 2019, Vol. 12, No. 4, pp. 74–95.

GEOGRAPHICAL DIFFERENCES OF GROUND AND SPACE (SATELLITE) TEMPERATURE DATA FOR GEOSYSTEMS OF KUNASHIR ISLAND (GREAT KURIL RANGE)

M.Y. Grishchenko^{1,2,3}, P.G. Mikhaylyukova⁴

^{1,4}*Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russia,*

e-mail: ¹m.gri@geogr.msu.ru, ⁴p.mikhaylyukova@geogr.msu.ru

²*HSE University, Moscow, 109028, Russia*

³*State Nature Reserve «Kurilsky», Sakhalin oblast, Yuzhno-Kurilsk, 694500, Russia*

Abstract.

The paper deals with the comparison of the results of the *in-situ* (ground-based) temperature measurements and the results of temperature calculations based on TIRS thermal satellite images (Landsat 8 satellite) for Kunashir island (Great Kuril range). Ground measurements were recorded using iButton temperature sensors installed at a height of 1.5–2 m from the surface (including under the forest canopy), thus the sensors record the air temperature. From satellite images of 100 m spatial resolution, the values of the land surface temperature (LST) were calculated according to the method developed by NASA. A strict dependence of the accuracy of determining the temperature values according to Landsat 8 data on the landscape features of the area was not revealed, however, the smallest values of the difference are characteristic of areas with dense woody vegetation, and the largest are confined to settlements, the vicinity of solfataric fields and economic facilities of environmental protection.

УДК 62–665.4

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ КОНВЕРСИИ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ

В.Е. Губин, А.Ю. Кайдашева, А.Э. Риф, В.В. Цветкова

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск, 634034, Россия, e-mail: gubin@tpu.ru

Глобальная декарбонизация, восстановление и рациональное использование энергетических ресурсов являются ключевыми задачами научно-технологического развития энергетической отрасли в XXI веке [1]. Данными причинами является урбанизация городских агломераций, увеличение численности населения, тенденции