

УДК 551.501: 504.064
AGRIS P31

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/116/03>

СПУТНИКОВЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМЛИ И ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РАЗЛИВОВ НЕФТИ

©Магеррамов Т. С., Национальная академия авиации Азербайджана,
г. Баку, Азербайджан, tural.mhr@gmail.com

©Азизов Б. М., д-р техн.наук, Национальная академия авиации Азербайджана,
г. Баку, Азербайджан, bakhtiyar48@mail.ru

SATELLITE METHODS FOR DETERMINING THE TEMPERATURE OF THE EARTH AND THE SURFACE ATMOSPHERE FOR OIL SPILL DETECTION

©Maharramov T., National Aviation Academy, Baku, Azerbaijan, tural.mhr@gmail.com

©Azizov B., Dr. habil., National Aviation Academy, Baku, Azerbaijan, bakhtiyar48@mail.ru

Аннотация. Температура поверхности и атмосферы в приземном слое определяется при помощи метода, основанного на использовании данных бортового теплового ИК-устройства для получения изображений или радиометров с узким полем зрения. Метод учитывает атмосферное ослабление, излучательную способность земной поверхности, излучение безоблачного неба и облаков, отражённое от земной поверхности, а также реакцию датчиков на различные уровни аппроксимации. Необходимыми метеорологическими измерениями являются температура промежуточного слоя атмосферы и возможной основы облаков. Особое значение данный метод приобретает при мониторинге разливов нефти. Разливы нефти на водной поверхности изменяют тепловые свойства и эмиссионные характеристики поверхности, что позволяет обнаруживать такие загрязнения с использованием дистанционного зондирования. Нефтяная пленка отличается более низкой температурой по сравнению с чистой водой из-за изменения теплообмена, что позволяет выделить зоны загрязнения с высокой точностью, вплоть до $\pm 0,1\text{K}$. Таким образом, тепловые ИК-методы становятся важным инструментом в экологическом мониторинге, включая обнаружение и оценку масштабов нефтяных разливов. Для атмосферных коррекций применяется одноканальный метод дифференциального смещения отдельного окна, который позволяет проводить радиозондирование с целью компенсации радиационного воздействия атмосферы. Это повышает точность получаемых данных при анализе тепловых аномалий, вызванных техногенными факторами, включая утечки углеводородов.

Abstract. The surface and atmospheric temperature in the surface layer is determined using a method based on the use of data from a satellite thermal infrared (IR) device to obtain imagery with a narrow field of view. The method accounts for atmospheric attenuation, the emissivity of the Earth's surface, and radiation from both cloudless skies and clouds reflected from the surface. Essential meteorological measurements include the temperature of the intermediate atmospheric layer and, when applicable, the bases of clouds. As a result of the research, temperature data with an accuracy of $\pm 1\text{K}$ were obtained. In addition to general surface and atmospheric temperature monitoring, this method proves particularly effective in the detection of oil spills. Oil films on water surfaces alter the thermal emissivity and heat exchange properties of the surface, typically appearing cooler than surrounding clean water in thermal imagery. These temperature anomalies enable remote detection of oil-contaminated zones, especially in marine and coastal environments.

Ключевые слова: температура поверхности, тепловое ИК-излучение, дистанционное зондирование, излучательная способность, нефтяное загрязнение.

Keywords: surface temperature, thermal infrared radiation, remote sensing, emissivity, oil pollution.

Для определения температуры земной поверхности с использованием данных, полученных со спутника, были разработаны различные методы [1, 2].

Новейшие подходы основаны на тепловых инфракрасных (ИК) данных спутников для измерения температуры как водной поверхности, так и других природных и антропогенных объектов [3–5].

В данной работе описана методика, позволяющая определять не только температуру водной поверхности и различных типов суши, но также температуру атмосферы в приземном слое воздуха, включая участки, покрытые растительностью. Одной из актуальных задач является обнаружение и мониторинг разливов нефти, особенно на морских и прибрежных водах. Нефтяные пленки изменяют тепловые характеристики поверхности воды — они имеют отличные излучательные свойства и, как правило, пониженную температуру из-за нарушения естественного теплообмена. Это позволяет использовать тепловое спутниковое зондирование как эффективный инструмент для выявления зон загрязнения. Методика, изложенная в статье, обеспечивает высокую точность температурных измерений, что позволяет выявлять аномалии, характерные для присутствия углеводородных загрязнений на поверхности воды. При измерениях могут возникать неопределённости, обусловленные нелинейной характеристикой сенсоров, что затрудняет их калибровку. Излучательная способность различных типов поверхности была ранее определена и задокументирована. Однако проблема усложняется при наличии неоднородной поверхности в пределах поля зрения спутникового датчика. В таких случаях необходимо применять два типа поправок: во-первых, атмосферную — для исключения вклада атмосферы в итоговые значения; во-вторых, поправку, связанную с вариативностью излучательной способности самой поверхности. Важно учитывать указанные факторы при анализе загрязнённых акваторий, где характер излучения может существенно отличаться от чистой воды или растительного покрова. Представленный метод демонстрирует высокую точность при определении температуры воды, однородных участков суши, а также температуры приземного слоя атмосферы в зонах с различным ландшафтным покрытием [6, 8, 10].

Методы предполагают, что рассеяние в траектории не из цели, а из других источников несущественно. Это предположение верно для длин волн $\lambda \geq 8$ мкм, за исключением $\lambda > 2$ или 3 мм ночью. Далее предполагается, что и распределение и количество рассеивающей и поглотителей в любом вертикальном столбе определенной высоты в рассматриваемой области постоянны. Это приемлемо для небольших участков на расстоянии несколько десятков километров или меньше от взрывов, как например, интенсивного фронта, где нет таких локализованных затемнений, как пыль от взрыва или дым. В этом случае, различие в ослаблении зависит только от различий в длине траектории от дистанционно управляемого летательного аппарата до цели. Это последнее условие используется при определении коэффициента ослабления объема и, следовательно, излучения из атмосферы [2-4].

Излучение R_0 , падающее на бортовой датчик, аппроксимируется при помощи уравнения:

$$R_0 = R_a (1 - \tau) + \epsilon R_g \tau \quad (1)$$

где R_g — излучения, уходящее с земной поверхности; ϵ — излучательная способность земной поверхности; R_a — излучение промежуточного слоя атмосферы и τ — коэффициент пропускания.

Для описанных здесь простых случаев: $\tau = \exp(-k Z s)$, где k — коэффициент ослабления объема, Z — вертикальная высота дистанционного управляемого летательного аппарата над поверхностью, s — секанс зенита и надира. k можно определить методом Когана [6, 7], ϵ получают из справочной таблицы, используя в качестве ввода тип поверхности например, песок или вода, за исключением простой формулы для воды при угловых надира $>50^\circ$, R_a определяют с использованием уравнения Планка. Часть излучения из воды или другой относительно гладкой поверхности может состоять из отражённого излучения неба или облака или из обоих. Это дополнительное излучение составляется при добавлении 2 членов в уравнение (1):

$$R_0 = R_a(1 - \tau) + \epsilon R_g \tau + (1 - \epsilon) R_{st}(1 - f\epsilon_c) + (1 - \epsilon) R_c \tau \tau' f\epsilon_c \quad (2)$$

где R_s — излучение безоблачного неба, направленное вниз, R_c — излучение облака, направленное вниз, ϵ_c — излучательная способность облака, τ' — коэффициент пропускания слоя между облаком и земной поверхностью, f — частичный облачный покров.

R_s и R_c вычисляются таким же путём, как и R_a , с использованием соответствующих температур для безоблачного неба и облаков. На Рисунке показаны значимые компоненты R_0 .

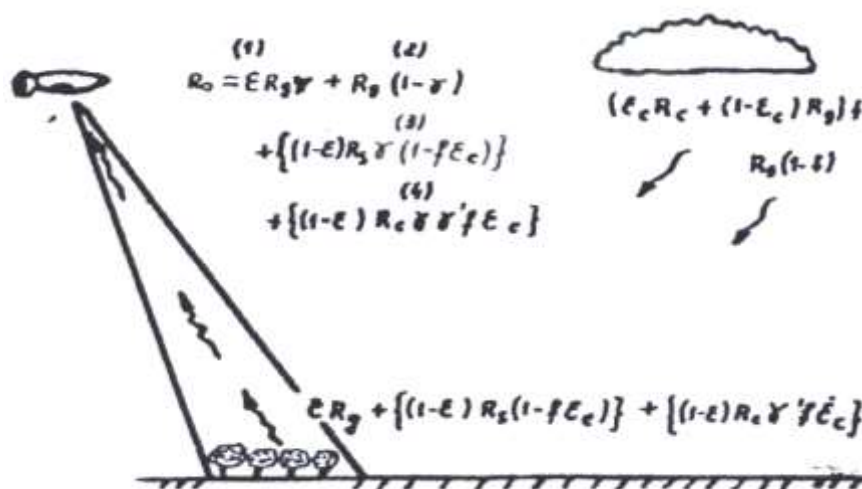


Рисунок. Упрощенное изображение существенных компонентов излучения, падающего на бортовой радиометр R_0 : 1 - член для испускаемого излучения земной поверхности. 2 - член для излучения, исходящего от промежуточного слоя атмосферы. 3 - член для отражённого излучения неба. 4 - член для отражённого излучения облаков

Эффективная поверхностная температура (T_e) часто вычисляется с достаточной точностью при использовании обратного уравнения Планка с λ_m :

$$T_e \approx C 2 \lambda_m^{-1} [\ln(c 1 \pi - 1 \lambda_m - 5 R_g - 1)]^{-1} \quad (3)$$

Тем не менее, T_e полученное при использовании λ_m широкополосного радиометра или изображающего устройства, особенно с неровной функцией фильтра, может быть недостаточно точно [9, 10].

Для исправления такого положения R_g сравнивается с излучением R_i , вычисленным с использованием каждого λ_i при T_e , вычисленной с λ_m :

$$R = \sum_{i=1}^n R_i \phi_i \omega / \sum_{i=1}^n \phi_i \omega \quad (4)$$

где каждый R_i — излучение, вычисленное для соответствующих λ_i при T_e . Если R превышает R_g на заранее определенное значение. T_e уменьшается (увеличивается) на заданное количество b . При предварительных вычислениях для этой статьи $a = 0.1, 0.02 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$, и $b = 0.5, 0.1 \text{ K}$. Новое значение T_e используется для вычисления новых значений R_g , и результирующее значение R проверяется по R_g . Итерация продолжается до $R_g - a < R < R_g + a$. Равновесие между точностью и временем вычисления определяется путем выбора a и b . Обычно малые значения a и b дают лучшую точность, но отнимают больше времени [11, 12].

Излучательная способность поверхности основывается на значениях, полученных несколькими авторами [8, 11-15] для нескольких типов земной поверхности. На Таблице приводятся значения излучательной способности для нескольких типов поверхности земли.

Таблица

ИЗЛУЧАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ ПОВЕРХНОСТИ

Поверхность	Коэффициент излучения	Длина волны
Вода	0.97	2-15
Тающий снег	0.99	8-14
Торф	0.99	8-14
Песчаная почва	0.92	8-13
Песок	0.90	8-14
Красная глина	0.96	8-14
Асфальт	0.96	8-12
Бетон	0.97	8-12
Гранит	0.82	8-12
Базальт	0.90	8-12
Листья	0.90	8-13
Кора	0.94	8-13
Трава (луговая овсяница)	0.88	8-13
Трава (отмершая)	0.97	8-14
Трава (живая)	0.99	8-14

Анализ и обсуждение

Вода обладает излучательной способностью 0.98, приемлемые значения для области спектра ИК излучения ($2 \text{ мкм} < \lambda < 15 \text{ мкм}$) при углах до $\sim 50^\circ$. Однако, ϵ уменьшается почти экспоненциально при больших углах надира. Следующая формула до $> 50^\circ$ аппроксимирует кривую для средней излучательной способности для 2-15 мкм [14, 15]:

$$\epsilon \approx 1 - \{2.7 \exp [0.09(\theta - 50)] - 0.7\} / 100 \quad (5)$$

Эта формула верна для ровной или почти ровной водной поверхности. Некоторые данные предполагают несколько другие кривые и показывают изменение связи для разных длин ИК волн [11, 14]. Эта формула была выбрана для избежания ненужного усложнения, и для θ менее ~ 60 или 65° , различия в кривых несущественны. По мере того, как поверхность становится грубее, ϵ увеличивается. При скорости ветра $\sim 6-8 \text{ м/сек}$, ϵ достигающим 0.8 у горизонта по сравнению с $\epsilon \approx 0$ для ровной горизонтальной поверхности. Для больших углов надира ($> 55^\circ$) отражение излучения от неба или облаков становится существенным. Кроме того, отраженное излучение облака может повысить общее значения отражения от поверхности, так что оно приближается к излучению от вертикальной проекции [15], если пренебречь разницей в атмосферном ослаблении. Излучение неба меньше и, поэтому, мало

прибавляет к общему излучению, кроме как при больших углах надир ($> 700^\circ$). Поверхность, покрытая деревьями и другие неровные поверхности, представляют собой дополнительные трудности. Большая часть отраженного излучения исходит от других частей того же объекта ϵ , (например, других листьев на том же дереве) или других близлежащих объектов на поверхности (например, других деревьев). Брэдберн и др. представили данные, показывающие, что измеренная радиационная температура деревьев и травы находится в пределах ИК истинных приземных температур, измеренных термопарой. Таким образом, конечный результат испускаемого и отраженного излучений при почти той же температуре состоит в том, чтобы сделать объект, обладающий излучательной способностью, близкой к 0 [16].

Излучательная способность низких сельскохозяйственных культур находится в пределах от 0.98 до 1.00. Тесная связь между температурами деревьев и травы предполагает, что температура атмосферы на поверхности или около поверхности можно получить по ИК данным изображающего устройства дистанционно управляемого летательного аппарата. Поле зрения радиометра должно быть достаточно узким для того, чтобы охватить один тип поверхности, как, например, луг, тесная группа деревьев или культивируемое поле.

Необходимые датчики (ИК изображающее устройство или радиометр и датчик температур) были правильно калиброваны. Тем не менее, правильная калибровка может оказаться затрудненной или невозможной. Это может значительно осложнить абсолютные измерения, и если характеристика со временем изменяется, это также может уменьшить точность относительных значений. Несмотря на все перечисленные здесь проблемы, измерение поверхностной температуры с достаточной точностью возможно при использовании данных ИК изображающего устройства. Большинство ошибок в T_e незначительны (несколько десятых степени) для многих однородных поверхностей при обычных атмосферных условиях (например, без осадков). Опубликованные сравнения предполагают, что для определенных поверхностей, как например, вода или трава, можно достичь абсолютной точности, приближающейся до $\pm 1\text{K}$.

Итак, описан простой метод определения температуры поверхности и температуры атмосферы вблизи поверхности, который использует радиационные данные бортового изображающего устройства или другого радиометрического прибора, работающего в тепловой инфракрасной (ИК) области спектра. Метод учитывает атмосферное ослабление, излучательную способность земной поверхности, отраженное излучение облаков и безоблачного неба, а также чувствительность датчика.

Полученные ранее экспериментальные данные свидетельствуют о том, что температура поверхности воды или других типов земной поверхности, излучательная способность которых хорошо известна, может быть определена с точностью до $\pm 1\text{ K}$. В случаях, когда излучательная способность поверхности неизвестна или варьируется в пределах поля зрения, точность измерений может существенно снижаться. Однако для участков, покрытых растительностью, данный метод позволяет оценить температуру атмосферы на уровне высот растительности также с точностью до $\pm 1\text{ K}$.

Особую значимость метод приобретает при мониторинге и обнаружении разливов нефти. Нефтяные пленки на поверхности воды изменяют её тепловые и оптические характеристики, снижая уровень теплового излучения по сравнению с чистой водой. Благодаря этим особенностям, даже простой тепловой радиометр, установленный на беспилотном летательном аппарате или легком пилотируемом воздушном средстве, способен обнаружить зоны загрязнения. В условиях затруднённого доступа или необходимости

оперативного реагирования дистанционные ИК-методы представляют собой эффективный инструмент для экологического мониторинга нефтяных загрязнений.

Таким образом, использование теплового зондирования не только способствует точному определению температуры, но и служит важным компонентом системы раннего предупреждения и оценки последствий аварийных разливов нефти на морских и прибрежных территориях. Этот подход может быть особенно полезен при проведении полевых исследований в труднодоступных районах, а также при реализации программ по экологическому мониторингу, в том числе с целью оценки последствий аварий на нефтепроводах, платформах или танкерах.

Список литературы:

1. Azizov B. M., Mekhtiyev Ja., Mammadov H. N., Guliyeva S. H. A mathematical model for accuracy improvement of determining the radiative characteristics of objects on the Earth's surface // Herald of the Azerbaijan Engineering Academy. 2022. V. 14. №2. P. 117-123. <https://doi.org/10.52171/2076-0515-2022-14-02-117-123>
2. Халилова Х. С., Азизов Б. М., Асадов Х. Г. Исследование экстремальных свойств коэффициента экстинкции атмосферного аэрозоля в береговых зонах // Инженерная физика. 2022. №2. С. 37-41. <https://doi.org/10.25791/infizik.2.2022.1255>
3. Азизов Б. М. О., Бадалова А. Н., Мамедов Х. Н. О. Оценка характеристических показателей оптико-электронных приборов, применяемых в системах дистанционного зондирования // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2023. №3 (233). С. 232-240. <https://doi.org/10.18522/2311-3103-2023-3-232-240>
4. Azizov B. M., Mekhtiyev J. S., Guliyeva S. H. Measurement of polarization of light in specular and diffuse reflection from plant cover // Optics and Spectroscopy. 2019. V. 126. P. 776-780. <https://doi.org/10.1134/S0030400X1906002X>
5. Ложкин Д. М., Шевченко Г. В. Тренды температуры поверхности Охотского моря и прилегающих акваторий по спутниковым данным 1998-2017 гг // Исследование Земли из космоса. 2019. №1. С. 55-61.
6. Ростов И. Д., Дмитриева Е. В., Воронцов А. А. Тенденции климатических изменений термических условий прибрежных районов Охотского моря за последние десятилетия // Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра). 2017. Т. 191. С. 176-195.
7. Ростов И. Д., Дмитриева Е. В., Воронцов А. А. Тенденции климатических изменений термических условий в прибрежных акваториях западной части Берингова моря и прилегающих районах за последние десятилетия // Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра). 2018. Т. 193. С. 167-182.
8. Зуенко Ю. И., Асеева Н. Л., Глебова С. Ю., Гостренко Л. М., Дубинина А. Ю., Дулепова Е. П., Шатилина Т. А. Современные изменения в экосистеме Охотского моря (2008-2018 гг.) // Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра). 2019. Т. 197. С. 35-61.
9. Niclòs R., Caselles V., Coll C., Valor E. Determination of sea surface temperature at large observation angles using an angular and emissivity-dependent split-window equation // Remote Sensing of Environment. 2007. V. 111. №1. P. 107-121. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.03.014>
10. Prata A. J. Land surface temperatures derived from the advanced very high resolution radiometer and the along-track scanning radiometer: 1. Theory // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 1993. V. 98. №D9. P. 16689-16702. <https://doi.org/10.1029/93JD01206>

11. Prata A. J. Land surface temperature measurement from space: AATSR algorithm theoretical basis document // Contract Report to ESA, CSIRO Atmospheric Research, Aspendale, Victoria, Australia. 2002. V. 2002. P. 1-34.
12. Ren H., Dong J., Liu R., Zheng Y., Guo J., Chen S., Zhao Y. New hybrid algorithm for land surface temperature retrieval from multiple-band thermal infrared image without atmospheric and emissivity data inputs // International Journal of Digital Earth. 2020. V. 13. №12. P. 1430-1453. <https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1731619>
13. Pérez-Planells L., Niclòs R., Puchades J., Coll C., Götsche F. M., Valiente J. A., Galve J. M. Validation of sentinel-3 slstr land surface temperature retrieved by the operational product and comparison with explicitly emissivity-dependent algorithms // Remote Sensing. 2021. V. 13. №11. P. 2228. <https://doi.org/10.3390/rs13112228>
14. Pinker R. T., Ma Y., Chen W., Hulley G., Borbas E., Islam T., Basara J. Towards a unified and coherent land surface temperature earth system data record from geostationary satellites // Remote Sensing. 2019. V. 11. №12. P. 1399. <https://doi.org/10.3390/rs11121399>
15. Qian Y. G., Li Z. L., Nerry F. Evaluation of land surface temperature and emissivities retrieved from MSG/SEVIRI data with MODIS land surface temperature and emissivity products // International Journal of Remote Sensing. 2013. V. 34. №9-10. P. 3140-3152. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.716538>
16. Qin Z., Dall'Olmo G., Karnieli A., Berliner P. Derivation of split window algorithm and its sensitivity analysis for retrieving land surface temperature // J. Geophys. Res. 2001. V. 106. №22. P. 655-22. <https://doi.org/10.1029/2000JD900452>

References:

1. Azizov B. M., Mekhtiyev Ja., Mammadov H. N., Guliyeva S. H. A mathematical model for accuracy improvement of determining the radiative characteristics of objects on the Earth's surface // Herald of the Azerbaijan Engineering Academy. 2022. V. 14. №2. P. 117-123. <https://doi.org/10.52171/2076-0515-2022-14-02-117-123>
2. Халилова Х. С., Азизов Б. М., Асадов Х. Г. Исследование экстремальных свойств коэффициента экстинкции атмосферного аэрозоля в береговых зонах // Инженерная физика. 2022. №2. С. 37-41. <https://doi.org/10.25791/infizik.2.2022.1255>
3. Азизов Б. М. О., Бадалова А. Н., Мамедов Х. Н. О. Оценка характеристических показателей оптико-электронных приборов, применяемых в системах дистанционного зондирования // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2023. №3 (233). С. 232-240. <https://doi.org/10.18522/2311-3103-2023-3-232-240>
4. Azizov, B. M., Mekhtiyev, J. S., & Guliyeva, S. H. (2019). Measurement of polarization of light in specular and diffuse reflection from plant cover. *Optics and Spectroscopy*, 126, 776-780. <https://doi.org/10.1134/S0030400X1906002X>
5. Lozhkin, D. M., & Shevchenko, G. V. (2019). Trendy temperatury poverkhnosti Okhotskogo morya i prilegayushchikh akvatorii po sputnikovym dannym 1998-2017 gg. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, (1), 55-61.
6. Rostov, I. D., Dmitrieva, E. V., & Vorontsov, A. A. (2017). Tendentsii klimaticheskikh izmenenii termicheskikh uslovii pribrezhnykh raionov Okhotskogo morya za poslednie desyatiletia. *Izvestiya TINRO (Tikhookeanskogo nauchno-issledovatel'skogo rybokhozyaistvennogo tsentra)*, 191, 176-195.
7. Rostov, I. D., Dmitrieva, E. V., & Vorontsov, A. A. (2018). Tendentsii klimaticheskikh izmenenii termicheskikh uslovii v pribrezhnykh akvatoriakh zapadnoi chasti Beringova morya i prilegayushchikh raionakh za poslednie desyatiletia. *Izvestiya TINRO (Tikhookeanskogo nauchno-issledovatel'skogo rybokhozyaistvennogo tsentra)*, 193, 167-182.

8. Zuenko, Yu. I., Aseeva, N. L., Glebova, S. Yu., Gostrenko, L. M., Dubinina, A. Yu., Dulepova, E. P., ... & Shatilina, T. A. (2019). Sovremennye izmeneniya v ekosisteme Okhotskogo morya (2008-2018 gg.). *Izvestiya TINRO (Tikhookeanskogo nauchno-issledovatel'skogo rybokhozyaistvennogo tsentra)*, 197, 35-61.
9. Niclòs, R., Caselles, V., Coll, C., & Valor, E. (2007). Determination of sea surface temperature at large observation angles using an angular and emissivity-dependent split-window equation. *Remote Sensing of Environment*, 111(1), 107-121. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.03.014>
10. Prata, A. J. (1993). Land surface temperatures derived from the advanced very high resolution radiometer and the along-track scanning radiometer: 1. Theory. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 98(D9), 16689-16702. <https://doi.org/10.1029/93JD01206>
11. Prata, A. J. (2002). Land surface temperature measurement from space: AATSR algorithm theoretical basis document. *Contract Report to ESA, CSIRO Atmospheric Research, Aspendale, Victoria, Australia, 2002*, 1-34.
12. Ren, H., Dong, J., Liu, R., Zheng, Y., Guo, J., Chen, S., ... & Zhao, Y. (2020). New hybrid algorithm for land surface temperature retrieval from multiple-band thermal infrared image without atmospheric and emissivity data inputs. *International Journal of Digital Earth*, 13(12), 1430-1453. <https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1731619>
13. Pérez-Planells, L., Niclòs, R., Puchades, J., Coll, C., Götsche, F. M., Valiente, J. A., ... & Galve, J. M. (2021). Validation of sentinel-3 slstr land surface temperature retrieved by the operational product and comparison with explicitly emissivity-dependent algorithms. *Remote Sensing*, 13(11), 2228. <https://doi.org/10.3390/rs13112228>
14. Pinker, R. T., Ma, Y., Chen, W., Hulley, G., Borbas, E., Islam, T., ... & Basara, J. (2019). Towards a unified and coherent land surface temperature earth system data record from geostationary satellites. *Remote Sensing*, 11(12), 1399. <https://doi.org/10.3390/rs11121399>
15. Qian, Y. G., Li, Z. L., & Nerry, F. (2013). Evaluation of land surface temperature and emissivities retrieved from MSG/SEVIRI data with MODIS land surface temperature and emissivity products. *International Journal of Remote Sensing*, 34(9-10), 3140-3152. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.716538>
16. Qin, Z., Dall'Olmo, G., Karnieli, A., & Berliner, P. (2001). Derivation of split window algorithm and its sensitivity analysis for retrieving land surface temperature. *J. Geophys. Res.*, 106(22), 655-22. <https://doi.org/10.1029/2000JD900452>

Работа поступила
в редакцию 12.05.2025 г.

Принята к публикации
17.05.2025 г.

Ссылка для цитирования:

Магеррамов Т. С., Азизов Б. М. Спутниковые методы определения температуры Земли и приземного слоя атмосферы для изучения разливов нефти // Бюллетень науки и практики. 2025. Т. 11. №7. С. 29-36. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/116/03>

Cite as (APA):

Maharramov, T., & Azizov, B. (2025). Satellite Methods for Determining the Temperature of the Earth and the Surface Atmosphere for oil Spill Detection. *Bulletin of Science and Practice*, 11(7), 29-36. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/116/03>