

УДК 631.439

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-341-9-74-77>

Тип статьи: Оригинальное исследование  
Type of article: Original research

**Джавадов Н.Г.,  
Казымова Ф.Т.**

Национальное аэрокосмическое агентство  
ул. С.С.Ахундова, 1. Бинагадинский  
район г.Баку, AZ1115, Национальное  
аэрокосмическое агентство,  
[nasa@mdi.gov.az](mailto:nasa@mdi.gov.az)

**Ключевые слова:** влажность, почва,  
отражения, спектр, дистанционное  
зондирование.

**Для цитирования:** Джавадов Н.Г.,  
Казымова Ф.Т. Исследование  
зависимости спектра отражения земли от  
типа и показателей увлажненности почвы.  
Аграрная наука. 2020; 341 (9): 74–77.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-341-9-74-77>

**Конфликт интересов отсутствует**

**Natik G. Javadov,  
Fergana T. Kazymova**

National Aerospace Agency  
1, S.S. Akhundov street, Binagadi district, Baku  
city, AZ1115

**Key words:** moisture, soil, reflection, spec-  
trum, remote sensing.

**For citation:** Javadov N.G., Kazymova F.T.  
Research of dependence of the earth's  
reflectance spectrum on type and  
parameters of wetted soil. Agrarian Science.  
2020; 341 (9): 74–77. (In Russ.)

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-341-9-74-77>

**There is no conflict of interests**

# Исследование зависимости спектра отражения земли от типа и показателей увлажненности почвы

## РЕЗЮМЕ

**Актуальность и методика.** Влажность почвы, будучи важным фактором ее продуктивности, может значительно изменяться на поверхности земли. В статье изложены результаты исследований зависимости спектра отражения земли от типа почвы и показателей ее увлажненности. Существуют много факторов, влияющих на спектр отражения почвы. Например, цвет почвы влияет на отражение почвы в видимом диапазоне. Текстура почвы также влияет на отражение почвы. В общем случае, чем больше гранулы почвы, тем меньше ее отражаемость. Кроме этого, содержание органических веществ в почве, а также влаги влияют на спектр отражения почвы. С учетом вышеизложенного целью исследования является выявление условий достижения максимума усредненной величины сигнала спектра отражения увлажненной почвы. Задача исследования формулируется следующим образом: следует определить, при каком виде взаимной динамики изменения показателей  $f_w$  и  $d$  ( $f_w$  — доля поверхности, где луч отражается непосредственно с поверхности воды;  $d$  — средняя величина оптической пути в порах среды вода — почва) при увеличении объемного содержания влаги в почве усредненная величина сигнала спектра отражения увлажненной почвы достигнет экстремума. Проанализированы условия достижения высоких значений отраженного с влажной почвы сигнала применительно к серии измерений на множества полей с разными величинами отражения Френеля.

**Результаты.** Показано, что с учетом возможного изменения взаимной динамики изменения  $f_w$  и  $d$  от синфазного до противофазного, усредненный отраженный сигнал достигает минимума при синфазном взаимном изменении указанных параметров. На основе обнаруженного факта дана эвристическая рекомендация использования той области объемного содержания воды в почве, где обеспечивается противофазное изменение указанных показателей.

## Research of dependence of the earth's reflectance spectrum on type and parameters of wetted soil

### ABSTRACT

**Relevance and materials.** The soil humidity being a major factor of its fertility can meaningfully change at the earth surface. Results of researches of dependence of soil reflectance spectrum from soil type and its wetness parameters are described pro-analytic conditions achievements high values of the signal reflected from wet soil are analyzed in relation to a series of measurements on multiple fields with different values of the Fresnel reflection.

**Results.** It is shown that taking into account the possible change in the mutual dynamics of changes in  $f_w$  and  $d$  from in phase to ant phase, the averaged reflected signal reaches a minimum when the specified parameters are in-phase mutually changed. On the basis of the discovered fact, a heuristic recommendation was given to use that area of the volumetric water content in the soil, where the ant phase change of the indicated indicators is provided.

Поступила: 26 августа  
После доработки: 9 сентября  
Принята к публикации: 10 сентября

Received: 26 august  
Revised: 9 september  
Accepted: 10 september

### Актуальность

Хорошо известно, что влажность почвы, будучи важным фактором ее продуктивности может значительно изменяться на поверхности земли [1].

Существуют много факторов, влияющих на спектр отражения почвы. Например, цвет почвы влияет на отражение почвы в видимом диапазоне. Текстура почвы также влияет на отражение почвы [2]. В общем случае, чем больше гранулы почвы, тем меньше ее отражаемость. Кроме этого, содержание органических веществ в почве, а также влаги влияют на спектр отражения почвы. Согласно работе [3], отражение влажной почвы может быть определено как

$$\rho(\lambda) = \rho_0(\lambda) \exp(a(\lambda) \cdot M), \quad (1)$$

где  $\rho(\lambda)$  — отражение влажной почвы на длине волны  $\lambda$ ;  $M$  — содержание влаги в почве;  $\rho_0(\lambda)$  — отражение почвы в условиях сухой погоды;  $a(\lambda)$  — коэффициент ослабления отражения из-за увлажнения почвы.

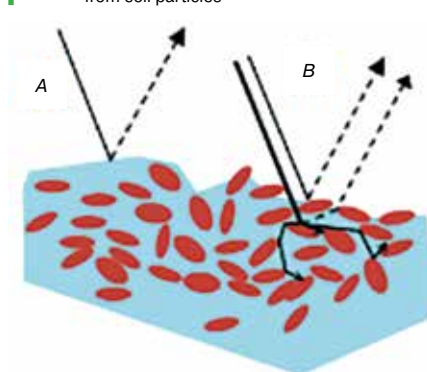
**Рис. 1.** Схематическое представление установки, используемой для исследования спектра отражения почвы

**Fig. 1.** Schematic representation of the setup used to study the reflection spectrum of soil



**Рис. 2.** Схематическое отображение модели формирования отраженного сигнала с увлажненной почвы: A — ход лучей при отражении Френеля с поверхности воды; B — ход лучей при отражении от частиц почвы

**Fig. 2.** Schematic representation of the model of the formation of the reflected signal from the moistened soil: A — path of rays when Fresnel is reflected from the water surface; B — path of rays when reflected from soil particles



В общей теории точного сельского хозяйства спектральным и колориметрическим измерениям отводится важное место. Анализ факторов, влияющих на цветность исследуемой почвы, безусловно, является актуальной для повышения точности и достоверности проводимых дистанционных измерений показателей состояния почвы.

### Краткий обзор известных работ по теме

Исследования, проведенные в [4], показали, что содержание глины и органических веществ влияет на свойства поглощения на длинах волн 1900 нм и 2200 нм, а также ослабляет абсорбцию оксидов железа на длине волны 480 нм. Согласно [5], в видимом диапазоне спектра может быть определена цветность почвы, узкие и широкие контуры поглощения на длинах волн 500–700 нм; определяющие содержание оксидов железа, оксигидроксидов и гидроксидов.

Влияние гидроксидов и водных молекул проявляется на длинах волн 1400 нм и 1900 нм [6]. Для исследования отражательного спектра почвы может быть использована установка, схематическое представление которой приведено на рис. 1.

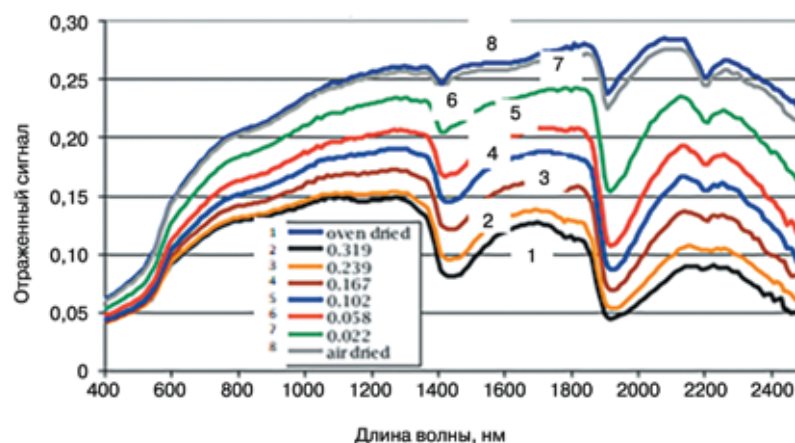
Многочисленные исследования показывают, что одним из основных факторов, влияющих на спектр отражения почвы, является ее влагосодержание [7–9]. Уменьшение отражения почвы с ростом ее влагосодержания теоретически обосновано Ангстрема в 1925 году [10] и далее Твуми [11]. В первом случае в качестве причины рассматривалось уменьшение внутреннего отражения в пленке воды, охватывающей частицы почвы, а во втором случае в качестве причины приводился тот факт, что коэффициент рефракции между водой и почвой значительно меньше, чем между воздухом и почвой. Как результат, усиливается взаимодействие света с почвой.

В работе [12] предложена новая модель для оценки спектра отражения влажной почвы, объясняющая уменьшение амплитуды спектра отражения влажной почвы на длинах волн абсорбции воды 1459 нм, 1900 нм и 2800 нм при увеличении содержания влаги в почве и свойства абсорбции почвы на длинах волн 1400 нм, 1900 нм и 2200 нм, которые маскируются при увеличении содержания влаги. Согласно этой модели, отраженный с увлажненной почвы сигнал определяется как

$$R = f_w \cdot \rho_w + (1 - f_w) \rho_s \cdot e^{d_{aw}}, \quad (2)$$

**Рис. 1.** Спектр отражения почвы типа Argic Aridisols (таксономия USDA). Пористость почвы 42%; содержание углерода 0,19%; цифрами обозначены содержание влаги [12]

**Fig. 1.** Reflection spectrum of Argic Aridisols soil (USDA taxonomy). Soil porosity 42%; carbon content 0.19%; numbers indicate moisture content [12]



где  $f_w$  — доля поверхности, где луч отражается непосредственно с поверхности воды;  $\rho_w$  — отражение Френеля с поверхности воды (непосредственное отражение с поверхности воды, путь отражения, обозначения как А на рис. 2);  $\rho_s$  — коэффициент отражения от частиц почвы;  $a_w$  — коэффициент поглощения воды;  $d$  — средняя величина оптической пути в порах среды вода — почва.

Общий вид спектров отражения почвы типа Argic Aridisol (по таксономии почв USDA) при разных значениях содержания влаги приведен на рис. 3 [12].

Динамика взаимосвязанного изменения показателей модели в зависимости от объемного содержания воды в почве показана на рис. 4 [12]. Были исследованы следующие типы почв: Argic Aridisol; Ustic Molisol; Xeric Andisol; Aridic Entisol входящие в таксономию почв USDA.

Как видно из графиков, приведенных на рис. 4, динамика взаимного изменения  $f_w$  и  $d$  неоднозначна, и рост  $f_w$  может сопровождаться как увеличением  $d$ , так и уменьшением  $d$ .

### Цель исследования

Целью исследования является выявление условий достижения максимума усредненной величины сигнала спектра отражения увлажненной почвы.

Задача исследования: следует определить, при каком виде взаимной динамики изменения показателей  $f_w$  и  $d$  при увеличении объемного содержания влаги в почве усредненная величина сигнала спектра отражения увлажненной почвы достигнет экстремума.

### Материал и методы

Для решения поставленной задачи введем на рассмотрение функциональную зависимость

$$d = \varphi(f_w). \quad (3)$$

Отметим, что функциональная зависимость (3) определяет взаимную динамику изменений  $f_w$  и  $d$  при увеличении объемного содержания влаги в почве. Согласно графическим данным, приведенным на рис. 4, зависимость (3) может иметь как возрастающий, так и спада-

ющий характер. Так, например, на участке объемного содержания воды 0,5–0,7 применительно к почве типа Ustic Molisol наблюдается противофазное изменение  $f_w$  и  $d$ , а в остальных случаях происходит синфазное изменение  $f_w$  и  $d$ .

С учетом вышеизложенного, применительно к функции (3) можно сформировать ограничительное условие

$$D_1 = \int_0^{f_{w\max}} \varphi(f_w) df_w = C; \quad C = \text{const}. \quad (4)$$

Для решения поставленной задачи исследования на базе выражения (2) сформируем функционал цели переписав (2) в виде

$$R = f_w \cdot \rho_w + (1 - f_w) \cdot \rho_s \cdot \exp[\varphi(f_w) a_w]. \quad (5)$$

Функционал цели, отображающий усредненную величину  $R$  по всем возможным значениям  $f_w$  имеет вид

$$D_2 = \frac{1}{f_{w\max}} \int_0^{f_{w\max}} [f_w \cdot \rho_w + (1 - f_w) \cdot \rho_s \cdot \exp[\varphi(f_w) a_w]] df_w. \quad (6)$$

С учетом выражений (4) и (6) сформируем общий функционал цели безусловной вариационной оптимизации  $f_{w\max}$

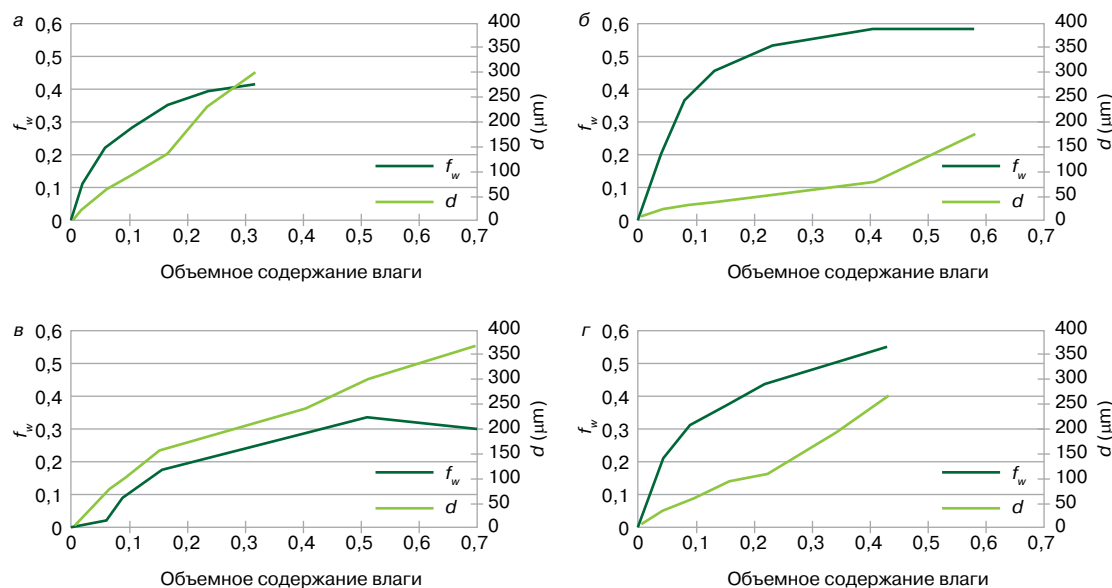
$$D_0 = \frac{1}{f_{w\max}} \int_0^{f_{w\max}} [f_w \cdot \rho_w + (1 - f_w) \cdot \rho_s \cdot \exp[\varphi(f_w) a_w]] df_w - \lambda \left[ \int_0^{f_{w\max}} \varphi(f_w) df_w - C \right], \quad (7)$$

где  $\lambda$  — множитель Лагранжа.

Таким образом, оптимальная функциональная зависимость  $d = \varphi(f_w)_{opt}$ , при которой усредненная величина отраженного с почвы сигнала достигла бы экстремальной величины, может быть вычислена путем решения вариационной оптимизационной задачи (7). Дадим модельное решение задачи (7).

**Рис. 4.** Графики взаимосвязанных изменений показателей  $f_w$  и  $d$  модели (2) для различных типов почвы, по таксономии почв USDA: а — Argic Aridisol; б — Ustic Molisol; в — Xeric Andisol; г — Aridic Entisol

**Fig. 4.** Graphs of interrelated changes in the  $f_w$  and  $d$  indices of the model (2) for different soil types, according to the taxonomy of soils USDA: а — Argic Aridisol; б — Ustic Molisol; в — Xeric Andisol; г — Aridic Entisol



### Модельное исследование

Согласно известному уравнению Эйлера – Лагранжа, решение оптимизационной задачи (7) должно удовлетворять условию

$$\frac{d\{[f_w \cdot \rho_s + (1-f_w)\rho_s \exp[\varphi(f_w) \cdot a_w]] - \lambda[\varphi(f_w) - C]\}}{d\varphi(f_w)} = 0. \quad (8)$$

Из (8) получаем

$$(1-f_w)\rho_s \cdot \exp[\varphi(f_w) \cdot a_w] \cdot a_w - \lambda = 0. \quad (9)$$

Из (9) находим

$$\exp[\varphi(f_w) \cdot a_w] = \frac{\lambda}{(1-f_w) \cdot \rho_s \cdot a_w}. \quad (10)$$

Логарифмируя обе стороны (10), находим

$$\varphi(f_w) = \frac{1}{a_w} \cdot \ln \frac{\lambda}{(1-f_w) \cdot \rho_s \cdot a_w}. \quad (11)$$

С учетом выражений (4) и (11) получим

$$D_1 = \frac{1}{f_{w \max}} \int_0^{f_{w \max}} \frac{1}{a_w} \ln \frac{\lambda}{(1-f_w) \rho_s \cdot a_w} df_w. \quad (12)$$

Подробно не останавливаясь на процедуре вычисления множителя Лагранжа с учетом  $D_1 = C$ , найденную величину этой постоянной как  $\lambda_0$ . В этом случае решением рассматриваемой оптимизационной задачи является выражение

$$\varphi(f_w) = \frac{1}{a_w} \cdot \ln \frac{\lambda}{(1-f_w) \cdot \rho_s \cdot a_w}. \quad (13)$$

Для определения типа экстремума (минимум или максимум) достигаемого функционалом (7) при решении (13), вычислим вторую производную интегранта (7) по искомой функции. Вычисление показывает, что результат является положительной величиной. Это означает, что усредненная величина спектра отражения воды будет достигать минимальной величины при синфазном изменении  $f_w$  и  $d$ .

### Результаты исследования

Таким образом, в результате проведенной оптимизации выявлено условие минимизации основного результирующего информационного сигнала. Однако с точки зрения повышения информативности дистанционного зондирования почвы желательно достичь высоких значений отраженного сигнала. Эвристически ясно, что для достижения этого условия необходимо использовать тот участок объемного содержания воды в почве, где  $f_w$  и  $d$  изменяются асинхронно или между ними существует достаточно сильная отрицательная корреляция.

### Заключение

Таким образом, проанализированы условия достижения достаточно высоких значений отраженного с влажной почвы сигнала применительно к серии измерений на множества полей с разными величинами отражения Френеля. Показано, что с учетом возможного изменения взаимной динамики изменения  $f_w$  и  $d$  от синфазного до противофазного, усредненный отраженный сигнал достигает минимума при синфазном взаимном изменении указанных параметров. На основе обнаруженного факта дана эвристическая рекомендация использования той области объемного содержания воды в почве, где обеспечивается противофазное изменение указанных показателей.

### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. O. Randall Etheridge, François Birdgand, Jason A. Osborne, Christopher L. Osburn, Michael R. Burchell II, and Justin Irbing Using in situ ultraviolet — visual spectroscopy to measure nitrogen carbon, phosphorus, and suspended solids concentrations at a high frequency in a brackish tidal marsh / Limnology and oceanography: methods. 2014;(12):10-22
2. Octavian Postolache, Pedro Silva Girao and Jose Miguel Dias Pereira, Water Quality Monitoring and Associated Distributed Measurement Systems: An Overview, ESTSetubal-LabIM/IPS, Setubal, Instituto de Telecomunicacoes Instituto Superior Tecnico, Lisboa, Portugal [https://www.researchgate.net/publication/224829933\\_Water\\_Quality\\_Monitoring\\_and\\_Associated\\_Distributed\\_Measurement\\_Systems\\_An\\_Overview](https://www.researchgate.net/publication/224829933_Water_Quality_Monitoring_and_Associated_Distributed_Measurement_Systems_An_Overview)
3. Mak Kisevic, Mira Morovic, Roko Andricevic The use of hyperspectral data for evaluation of water quality parameters in the river sava. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2016;25(11):4814-4822
4. M. Huebsch, F. Grimmeisen, M. Zemmann, O. Fenton, K. G. Richards, P. Jordan, A. Sawarieh, P. Blum, and N. Goldscheider Technical Note: Field experiences using UV/VIS sensors for high-resolution monitoring of nitrate in groundwater. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2015;(19):1589-1598 [www.hydrol-earth-syst-sci.net/19/1598/2015](http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/19/1598/2015)
5. Joep van den Broeke, Gunter Langergraber and Andreas Weingartner On-line and in situ UV/vis spectroscopy for multi-parameter measurements: a brief review. *Spectroscopy Europe*. 2006;(18):4.
6. J.Ramprabu and C. Paramesh Automated Sensor Network for Monitoring and Detection of Impurity in Drinking Water System. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*. January 2015;3(1).
7. Киселёв А.В., Муратова Н.Р., Горный В.И., Тронин А.А. Связь запасов продуктивной влаги в почве с полем силы тягести Земли (по данным съемок спутниками GRACE). *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2015;12(6):7–16. [A.V. Kisel'ov, N.R. Muratova, V.I. Gorniy, A.A. Tronin. Svjaz' zapasov produktivnoy vlagi v pochve s polem sily tjazhesti Zemli (po dannym s'emoк sputnikami GRACE) Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2015;12(6):7–16. (In Russ.)]
8. Лебедева Л.В. Влагосодержание и теплофизические свойства почв под древесными фитоценозами в условиях дендрария. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета* 2017;8(154):69-75. [Lebedeva L.V. Vlagosoderzhanie i teplofizicheskie svoystva pochv pod drevesnymi fitocenozi v uslovijah dendrarija. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017;8(154):69-75. (In Russ.)]
9. Музалевский К.В., Михайлов М.И. Измерение влажности и температуры почвы на основе интерференционного приема линейно-поляризованных сигналов ГЛОНАСС и GPS. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2018;15(4):155–165. [Muzalevskij K.V., Mihajlov M.I. Izmerenie vlazhnosti i temperatury pochvy na osnove interferencionnogo prijoma linejno-poljarizovannyh signalov GLONASS i GPSSovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2018;15(4):155–165. (In Russ.)]
10. Angstrom A. The albedo of various surfaces of ground. *Geografiska Annaler*. 1925;(7):323-342.
11. Thomey S.A., Bohren C.F., Mergenthaler J.L. Reflectance and albedo differences between wet and dry surfaces. *Applied optics*. 1986;(25):431-437.
12. Philpot W. Spectral reflectance of wetted soils. *Proc. ASD IEEE GRS 2010*, 2.

### ОБ АВТОРАХ:

Джавадов Натиг Гаджи оглы, профессор  
Казымова Фергана Тевеккул, аспирант

### ABOUT THE AUTHORS:

Djavadov Natig Hadji oglu, professor  
Fergana T. Kazymova, postgraduate student