

ОБ ОЦЕНКЕ СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА В ПОЧВЕ В УСЛОВИЯХ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ОПТИЧЕСКИМ ДАННЫМ SENTINEL 2

Н. В. Родионова¹, С. Я. Кудряшова², А. С. Чумбаев²

¹*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
Фрязино;*

²*Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск*

В работе получена оценка содержания гумуса на пяти тестовых участках с черноземами и серыми лесными почвами в Новосибирской области в апреле 2019 и 2020 годов на базе использования регрессионной модели, в которую входят коэффициенты отражения от поверхности на длине волны спектрального канала В6 спутника Sentinel 2 (S2).

ABOUT SATELLITE ASSESSMENT OF HUMUS CONTENT BASED ON SENTINEL 2 DATA IN CONDITIONS OF NOVOSIBIRSK REGION

N. V. Rodionova¹, S. Ya. Kudryashova², A. S. Chumbaev²

¹*Institute of Radioengineering and Electronics, RAS,
Fryazino, Moscow Region, Russia;*

²*Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian branch of RAS, Novosibirsk*

Pokrovsky in 1927 for the first time proposed an exponent equation that determines the relationship between the humus content and the values of the reflection coefficient (RC) (in Orlov et al., 2001).

Our work uses Sentinel 2 (S2) multispectral data to monitor the value of H content in the upper 0-10 cm soil layer of six test sites in the Novosibirsk region in April 2019 and 2020. Three test sites have black soils (unwashed, weakly washed, virgin soil), and the other three have gray forest soils (unwashed, weakly washed, forest). For remote determination of H content based on multispectral S2 data we use regression model (Karavanjva, Orlov, 1996) and S2 spectral band B6 (740 nm). The model are applicable to bare soil and require a number of conditions to be met. Namely, 1) zero cloud cover, 2) NDVI <0.35, 3) the difference between B3 and B2 bands and between B4 and B3 bands must be greater than 0, 4) the value of $NBR=(B11-B12)/(B11+B12)$ must be $NBR \leq 0.05$. We used S2 L2A optical data for 23.4.2019 and 22.4.2020. The conditions for applying regression equations are met for five test sites (except for the forest).

The coefficient values in exponent equation (Karavanova, Orlov, 1996) were adjusted for the conditions of the test sites. The calculated values of the humus content showed a decrease of 2.4% in the unwashed chernozems per year. For all other test sites, the change over the year was from 0.3 to 0.9%.

В данной работе рассматривается возможность использования оптических данных спутника Sentinel 2 за 2019-2020 годы для оценки содержания гумуса (H) на примере черноземов и серых лесных почв Новосибирской области. Особое внимание уделено подбору спутниковых изображений, поскольку для подобной

оценки есть определенные требования для почвы, а именно, почва должна быть сухая и без растительности (обнаженная).

Исходные данные

В данной работе для определения содержания гумуса в верхнем слое почвы используются мультиспектральные данные спутников Sentinel 2 с высоким временным, пространственным и спектральным разрешением. Спутник ESA Sentinel 2A был запущен в июне 2015 года, второй Sentinel 2B в марте 2017 года. Периодичность мультиспектральной съемки каждым спутником составляет 10 дней, а при работе двух аппаратов – 5 дней. В мультиспектральной камере 13 каналов с разным пространственным разрешением от 10 до 60 метров. Обработка изображений осуществлялась программой SNAP. Использовались данные съемочной системы Sentinel 2 с уровнем обработки L2A в виде альbedo на нижней границе атмосферы (с атмосферной коррекцией).

Для примера применения спутниковой информации используются почвы шести тестовых участков, расположенных в Новосибирской области. В табл. 1 дано описание этих площадок с гранулометрическим составом почвы и содержанием гумуса на глубине 0–10 см (лабораторные данные 2019 года).

Таблица 1. Гранулометрический состав почвы и содержание гумуса на глубине 0–10 см для шести тестовых площадок Новосибирской области

Площадка	Координаты с.ш., в.д.	Гранулометрический состав почвы и содержание гумуса (%)			
		глина	песок	ил	гумус
1. Чернозем выщелоченный, несмытая пашня	55°02'12.3'', 83°51'47.8''	25.6	53.7	20.7	9.9
2. Чернозем выщелоченный слабосмытая пашня	55°01'42.8'', 83°50'41.8''	19.8	56.8	23.4	8.3
3. Чернозем выщелоченный, слабосмытая целина	55°01'55.4'', 83°51'29.6''	22.1	51.8	26.1	8.6
4. Серая лесная почва, несмытая пашня	55°00'42.0'', 83°53'01.1''	22.9	54.8	22.3	6.0
5. Серая лесная почва, слабосмытая пашня	55°00'40.5'', 83°52'54.1''	24.4	55.1	20.5	5.2
6. Серая лесная почва, лес	55°00'37.8'', 83°52'31.8''	25.0	54.2	20.8	6.6

Выбор исходных изображений

Для спутниковой оценки содержания органического вещества в почве накладываются ограничения на выбор мультиспектральных изображений, связанные с выделением на изображениях сухих почв без растительности (обнаженных почв). В работе (Dematte et al., 2018) приведены такие условия, которые для каналов Sentinel 2 представлены следующим образом (Castaldi et al., 2019): 1) нулевая облачность в районе исследования, 2) значение вегетационного индекса $NDVI = (B8-B4)/(B8+B4) < 0,35$ для исключения зеленой растительности, 3) разность коэффициентов отражения (КО) между каналами B3 и B2 и каналами B4 и B3 должна быть больше 0 (использование данных фильтров улучшает выделение почвы (Dematte et al., 2018)), 4) значение $NBR = (B11-B12)/(B11+B12)$ должно быть $NBR \leq 0,05$, что позволяет выделить на изображении пиксели с сухой обнаженной почвой. Вода усиливает поглощение света, и КО резко снижается. Спектральные каналы B11 и B12 сильно коррелируют с влажностью почвы (Musick, Pelletier, 1988), и их разность позволяет различать спектры сухой, влажной почвы, а также спектры, связанные с растительностью. Выбор порога для NBR сильно влияет на количество пикселей на изображении, удовлетворяющих условиям сухой почвы. Увеличение порога NBR до 0,15 приводит к уменьшению числа 'нужных' пикселей в два раза (Castaldi et al., 2019), т. е. увеличение NBR приводит к ухудшению точности моделей для определения параметров почвы по спутниковым данным.

В результате для исследуемой территории были выбраны оптические снимки S2 L2A за 23.4.2019 и 22.4.2020, для которых выполнено условие отсутствия облачности, NDVI меняется от 0.17 до 0.24, разность КО между каналами B3 и B2 и каналами B4 и B3 больше 0, значения NBR несколько превышают порог 0,05, а именно, NBR меняется от 0,1 до 0,158. Приведенные значения выполняются для всех площадок, кроме площадки № 6 (лес), для которой значение $NDVI > 0,5$ и $NBR > 0,17$.

Оценка содержания гумуса в почве по данным Sentinel 2

Для создания регрессионной модели связи КО с Н необходимы как спутниковые, так и наземные данные, причем количество точек для наземных измерений должно быть не меньше 20 для определения корреляции. Кроме того, исследуемые тестовые участки должны иметь близкий гранулометрический состав. Дело в том, что чем более мелкие частицы почвы, тем больше КО от этих почв. То есть модели для определения Н являются локальными, и использование имеющихся в литературе моделей требует корректировки для исследуемой территории.

Для качественной оценки изменений содержания гумуса в почвах исследуемых тестовых участков приведем графики зависимости КО для длин волн каналов S2 B2-B6, B8, B11, B12 для 23.4.2019 и 22.4.2020 (рис. 1), и определим изменения за год. Разность значений КО положительна для площадки № 1 (чернозем, несмытая пашня) для всех каналов, кроме B12. Это свидетельствует, что значения КО для площадки № 1 увеличились в 2020 году в сравнении с 2019 годом, т. е. содержание Н уменьшилось. Для чернозема смытого (площадка № 2) есть как увеличение разности для трех каналов, так и уменьшение разности для четырех каналов. То есть нельзя отметить какого-то изменения содержания Н за год. Для площадки № 3 (целина) разность КО для шести каналов отрицательна, и для двух положительна. То есть можно сделать вывод об уменьшении для большинства каналов значений КО за год, и сл., увеличение значения Н. Для серых лесных почв несмытых (площадка № 4) отмечаем отрицательную разность для шести каналов из восьми, т. е. уменьшение КО за год, соответственно, увеличение за год Н. Для слабосмытых серых почв (площадка № 5) отмечаем увеличение разности КО, соответственно, уменьшение содержания Н.

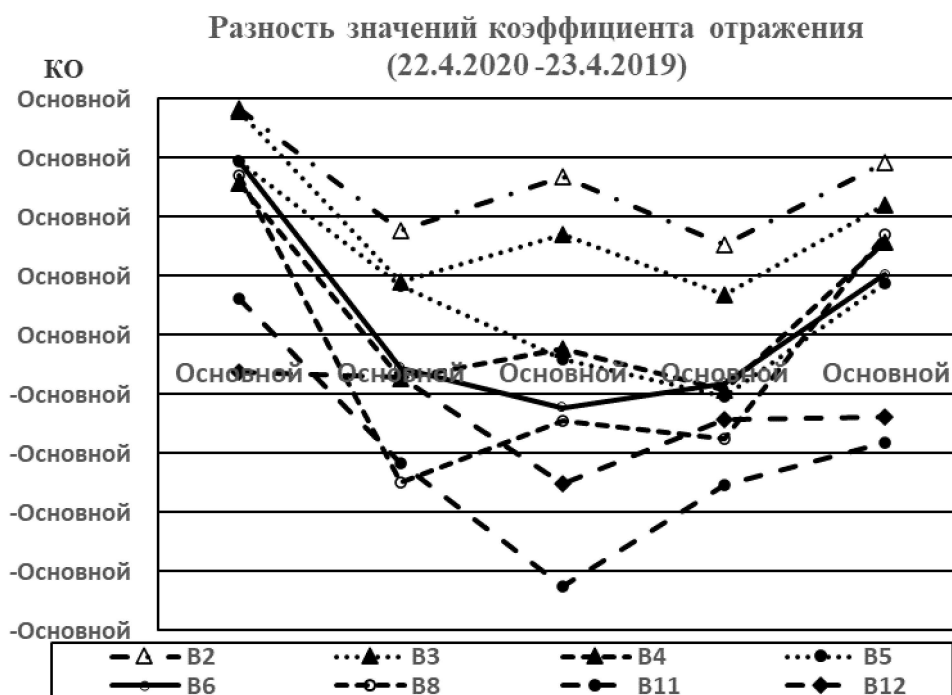


Рис. 1. Разность значений коэффициента отражения от почв пяти тестовых площадок для дат 22.4.2020 и 23.4.2019

Для количественной оценки N необходима локальная модель для тестируемой территории, либо использование существующих моделей с корректировкой для локальной территории со своим гранулометрическим составом почвы.

Покровским в 1927 году впервые было предложено уравнение экспоненты, определяющее связь содержания гумуса и значений КО (по Орлов и др., 2001):

$$\rho_{750} = \rho_{750,h} + A e^{-kN}$$

где ρ_{750} – КО на длине волны 750 нм; $\rho_{750,h}$ – КО многогумусной почвы; $\rho_{750,0} = (\rho_{750,h} + A)$ – КО безгумусной почвы; N – содержание гумуса, k – коэффициент, определяющий крутизну экспоненциального графика.

При использовании экспоненциальной зависимости КО от содержания гумуса в сухой почве без растительности следует учитывать три момента: 1) при небольшом содержании гумуса (до 3%) его определение наиболее точное, но разброс значений КО, соответствующих данному содержанию гумуса, велик, 2) при значениях содержания гумуса 6–7% и более определение содержания гумуса по КО неточное, влияние оказывают при одинаковом содержании гумуса влажность почвы, условия обработки (Караванова, 2003), 3) решающим

фактором является выбор дат спутниковой съемки, позволяющих выявить пиксели с сухой почвой без растительности.

В настоящей работе выяснить корреляционную связь КО с содержанием гумуса на пяти тестовых участках Новосибирской области не представляется возможным из-за недостаточного числа наземных точек измерений. Судя по имеющимся наземным измерениям содержания гумуса в почвах тестовых участков (табл. 1), предполагаем, что кривые зависимости КО от Н (гумус) представлены выполаживающимися участками, где точность определения содержания Н от КО невелика.

В данной работе для определения содержания Н по спутниковым данным используется экспоненциальная модель с параметрами для черноземов и серых лесных почв, представленная в (Караванова, Орлов, 1996).

Отметим, что для соответствия этой модели надо взять данные оптики для длины волны 750 нм. Для Sentinel 2 – это канал В6 с длиной волны 740 нм, шириной полосы 15 нм и пространственным разрешением 20 м. Значения КО в канале В6 для пяти тестовых площадок в Новосибирской области для двух дат 23.4.2019 и 22.4.2020, а также полученные значения процентного содержания гумуса по уравнению экспоненты с параметрами разных почв без корректировки на местные условия приведены в табл. 2 (значения ρ_{750} , А, k, взяты в (Караванова, Орлов, 1996)).

Таблица 2. Содержание гумуса для пяти тестовых участков в Новосибирской области по данным Sentinel 2 для 23.4.2019 и 22.4.2020

№ площадки	КО 23.4.2019	КО 22.3.2020	Н(%) чернозем 1 ($\rho_{750}=8.5$, A=19.1, k=0.149) 2019 :: 2020	Н(%) чернозем 2 ($\rho_{750}=8.0$, A=29.1, k=0.17) 2019 :: 2020	Н(%) чернозем 3 ($\rho_{750}=8.0$, A=31.0, k=0.48) 2019 :: 2020	Н(%) серые лесные ($\rho_{750}=8.5$, A=40.5, k=0.155) 2019 :: 2020
1	0,1639	0,1934	5,93 :: 3,8	7,32 :: 5,54	2,72 :: 2,1	
2	0,2041	0,1986	3,16 :: 3,49	5,01 :: 5,28	1,91 :: 2,0	
3	0,1912	0,179	3,94 :: 4,76	5,66 :: 6,34	2,14 :: 2,38	
4	0,1602	0,1521				10,86 :: 11,6
5	0,1644	0,1747				10,51 :: 9,73

Для использования параметров уравнения экспоненты по (Караванова, Орлов, 1996) в локальных условиях исследуемых тестовых участков необходима корректировка этих параметров. Одним из возможных вариантов для оценки содержания гумуса в почвах тестовых участков является использование для черноземов следующих параметров: $\rho_{750,h} = 8,0$, $A = 29,1$ и $k = 0,1256$. Для серых лесных почв $\rho_{750,h} = 8,5$, $A = 40,5$ и $k = 0,28$. В табл. 3 приведены вычисленные значения содержания гумуса H для пяти тестовых площадок при данных коэффициентах уравнения экспоненты.

Таблица 3. Параметры уравнения экспоненты и определенные по уравнению содержание гумуса в почве тестовых площадок Новосибирской области

Почвы	Значения коэффициентов уравнения экспоненты			№ площадки	H, % 2019	H, % 2020
	$\rho_{750,h}$	A	k			
Серые лесные	8,5	40,5	0,28	4	6,0	6,4
				5	5,8	5,4
Черноземы: выщелоченные, обыкновенные, типичные, лугово-черноземные почвы	8,0	29,1	0,126	1	9,9	7,5
				2	6,8	7,1
				3	7,7	8,6

Сравнение полученных значений гумуса H (табл. 3) со значениями, полученными в лабораторных условиях (табл. 1), свидетельствует как о близости, так и отличии до 1,5%, которые вызваны как выбором спутниковых изображений, удовлетворяющих определенным условиям, так и подбором значений коэффициентов уравнения экспоненты при отсутствии необходимого количества наземных данных. И тем не менее некоторые выводы о количественном содержании гумуса в почве сделать можно, прежде всего, что касается сравнения 2019 года с 2020 годом. А именно, для площадки № 1 (чернозем выщелоченный, несмытая пашня) за год отмечено уменьшение содержания гумуса на 2,4%. Для остальных площадок изменения за год незначительные от 0,3 до 0,9%.

Список литературы

1. Караванова Е.И., Орлов Д.С. Оценка содержания гумуса в почвах по их спектральной отражательной способности // *Агрохимия*. 1996. № 1. С. 3–9.
2. Караванова Е.И. Оптические свойства почв и их природа. М.: Изд-во МГУ, 2003. 151 с.
3. Орлов Д.С., Суханова Н.И., Розанова М.С. Спектральная отражательная способность почв и их компонентов. М.: МГУ, 2001. 175 с.
4. F. Castaldi, S. Chabrillat, A. Don, B. van Wesemael. Soil Organic Carbon Mapping Using LUCAS Topsoil Database and Sentinel-2 Data: An Approach to Reduce Soil Moisture and Crop Residue Effects. *Remote Sensing*, 11, 2121 (2019), p. 1–15; doi: <http://doi.org/10.3390/rs11182121>.
5. J.A.M. Demattê, C.T. Fongaro, R. Rizzo, J.L. Safanelli. Geospatial Soil Sensing System (GEOS3): A powerful data mining procedure to retrieve soil spectral reflectance from satellite images. *Remote Sensing of Environment*, 212 (2018), p. 161–175.
6. H.B. Musick, R.E. Pelletier. Response to soil moisture of spectral indexes derived from bidirectional reflectance in thematic mapper wavebands. *Remote Sens. Environ.*, 25 (1988), p. 167–184.