

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА И ГЛИНЫ В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ SENTINEL 2

Родионова Н.В.

ФирЭ им. В.В. Котельникова РАН, Фрязино, E-mail: rnv@ire.rssi.ru

С.Я. Кудряшова, Чумбаев А.С.

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск

ВВЕДЕНИЕ

При дистанционном зондировании оптические свойства почвы подвержены влиянию в основном четырех важных факторов: минеральному составу, влажности почвы, содержанию органического вещества и текстуры почвы. Для дистанционного восстановления этих параметров используют различные группы спектральных индексов.

В данной работе рассматривается возможность использования мультиспектральных данных спутника Sentinel 2 за 2019-2020 годы для оценки содержания гумуса (H) и глины (Clay) в верхнем слое почвы на примере черноземов и серых лесных почв Новосибирской области. Особое внимание уделено подбору спутниковых изображений, поскольку для подобной оценки есть определенные требования, а именно, почва должна быть сухая и оголенная.

Район исследования



Рис.1 Тестовые площадки в Новосибирской области.

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

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

Исходные оптические данные Sentinel 2

<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/toolboxes/sentinel-1>

В работе использованы мультиспектральные данные Sentinel 2 (S2) с высоким временным, пространственным и спектральным разрешением. 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. Использовались данные съемочной системы S2 с уровнем обработки L2A в виде альbedo на нижней границе атмосферы (с атмосферной коррекцией). Работа с изображениями S1 и S2 осуществлялась программой SNAP.

В таблице 2 приведен список использованных S2 сеансов съемки. Приведены также использованные спектральные каналы.

Таблица 2.

Спутник	Дата съемки	Спектральные каналы	Длина волны	Пространственное разрешение, м	Ширина полосы, нм
S2	23/04/2019	B2-B8A	490-865 нм	10-20	15-115
	22/04/2020				
	30/04/2020				
	10/05/2020				

Выбор исходных изображений

Для спутниковой оценки содержания гумуса и глины в верхнем слое почвы накладываются ограничения на выбор мультиспектральных изображений, связанные с выделением на изображениях сухих почв без растительности. В работе (Dematte et al., 2018) приведены такие условия, которые для каналов Sentinel 2 представлены следующим образом (Castaldi et al., 2019): 1) нулевая облачность, 2) $NDVI=(B8-B4)/(B8+B4)<0.35$ для исключения зеленой растительности, 3) разность коэффициентов отражения (КО) между каналами B3 и B2 и каналами B4 и B3 должна быть больше 0, 4) значение $NBR=(B11-B12)/(B11+B12)<=0.05$, что позволяет выделить на изображении пиксели с сухой обнаженной почвой. Увеличение NBR приводит к ухудшению точности моделей для определения параметров почвы по спутниковым данным. Условиям 1)-4) удовлетворяют снимки S2 L2A за 23.4.2019 и 22.4.2020 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

Содержание гумуса (H) в почве связано со спектральной яркостью, связь нелинейная, и увеличение содержания H сопровождается уменьшением коэффициента отражения (КО) от почвы. Для создания модели связи КО с H необходимы как спутниковые, так и наземные данные, причем количество точек для наземных измерений должно быть не меньше 20 для определения корреляции и создания регрессионной модели. 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 H являются локальными, и использование имеющихся в литературе моделей требует корректировки для исследуемой территории.

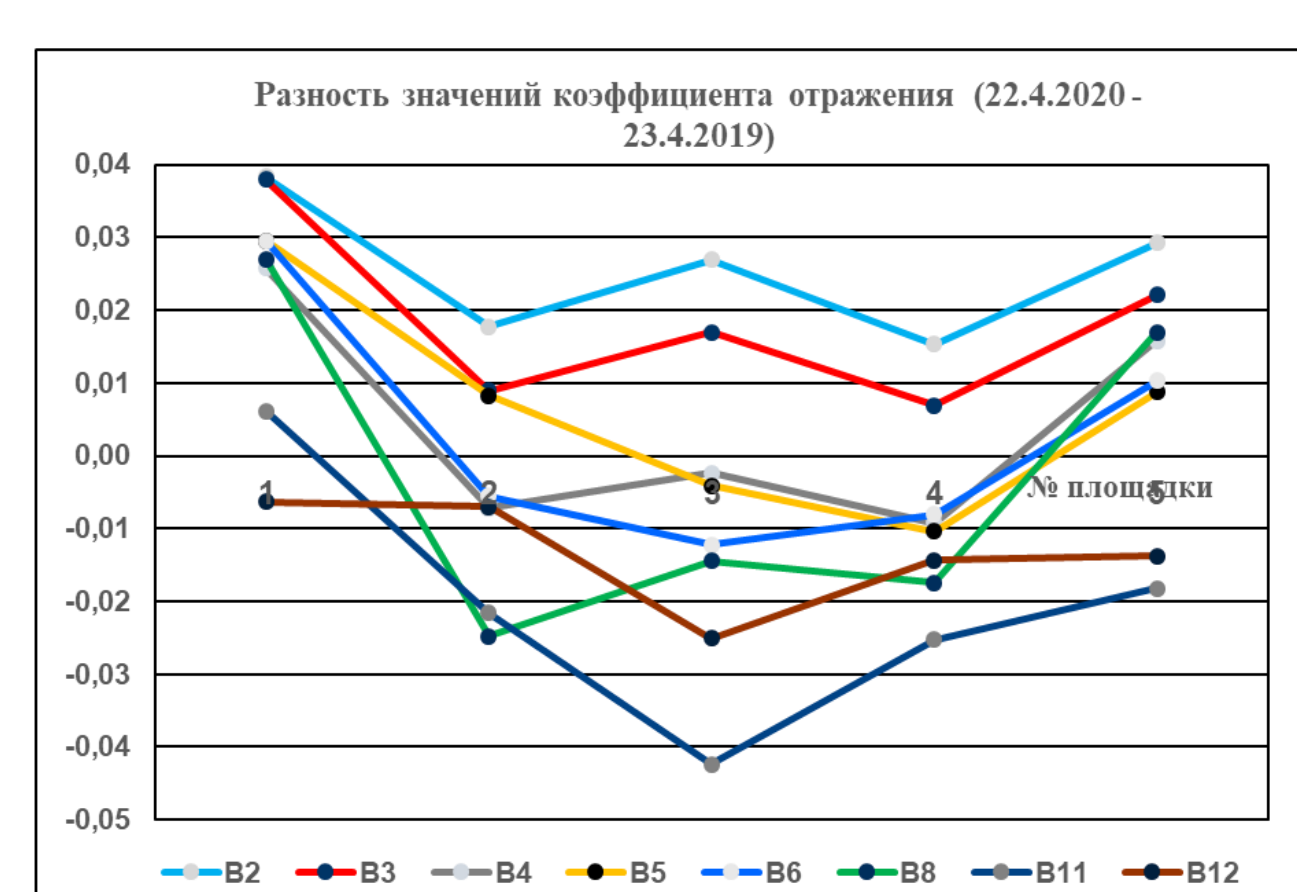


Рис. 2. Разность значений коэффициента отражения от почв пяти тестовых площадок для дат 22.4.2020 и 23.4.2019

Для качественной оценки изменений содержания органики в почвах тестовых участков приведем графики точности значений КО для дат 22.4.2020 и 23.4.2019 для длин волн каналов S2 B2-B6, B8, B11, B12 (рис. 2), и определим изменения за прошедший год. Разность значений КО положительна для площадки №1 (чернозем, несмытая пашня) для всех каналов, кроме B12. Это свидетельствует о том, что значения КО для площадки №1 увеличились в 2020 году в сравнении с 2019 годом, т.е. содержание H уменьшилось. Для остальных площадок однозначного ответа дать нельзя.

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

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

где ρ_{750} -КО на длине волны 750 нм, $\rho_{750,h}$ - КО многогумусной почвы, H – содержание гумуса, k-коэффициент, определяющий крутизну экспоненциального графика.

В данной работе для определения количественного содержания H по спутниковым данным используется экспоненциальная модель Покровского с параметрами для черноземов и серых лесных почв, представленными в (Караванова, Орлов, 1996). Для соответствия этой модели используем канал S2 B6 с длиной волны 740 нм, шириной полосы 15 нм и пространственным разрешением 20 м. Параметры модели для черноземов: $\rho_{750,h}=8.0$, $A=29.1$, $k=0.1256$. Для серых лесных почв $\rho_{750,h}=8.5$, $A=40.5$, $k=0.28$. В таблице 3 приведены вычисленные значения содержания гумуса H для пяти тестовых площадок при данных параметрах уравнения экспоненты.

Таблица 3

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

Для площадки №1 отмечено уменьшение за год содержания гумуса на 2.4 %. Для остальных площадок изменения за год незначительные от 0.3 до 0.9 %.

Оценка содержания глины в верхнем слое почвы по оптическим данным спутника Sentinel 2

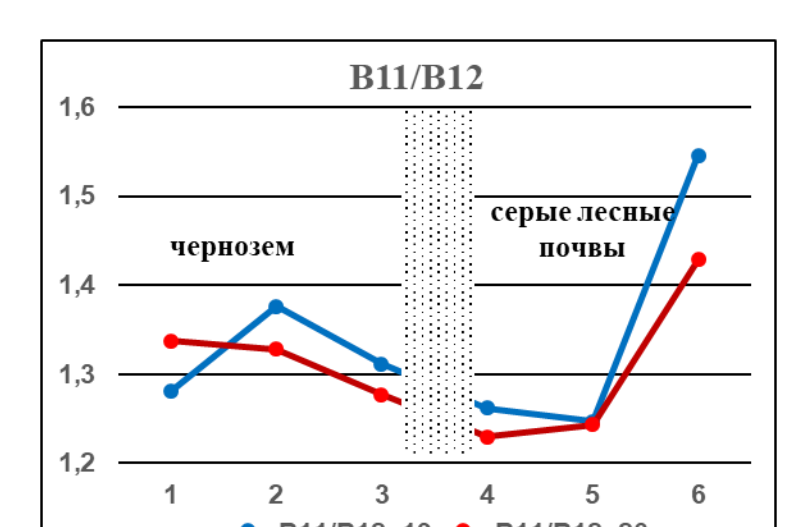
Механический состав почвы (количественное содержание частиц разных размеров) определяет все физические свойства почв: порозность, влагоемкость, водопроницаемость, водоудерживающую способность, воздушный и тепловой режимы и др. Частицы в диаметре крупнее 0.01 мм объединены в группу “физический песок” (скелет почвы составляют частицы крупнее 1 мм), и все частицы в диаметре меньше 0.01 мм объединены в группу “физическая глина”. Уменьшение размера частиц приводит к резкому изменению их свойств, это происходит на границе в 0.01 мм. Для частиц с диаметром больше 0.01 мм характерна высокая водопроницаемость, слабая водоудерживающая и водоудерживающая способность. Пылевая фракция частиц (диаметр меньше 0.01 мм) впитывает влагу медленно, но хорошо ее удерживает и обладает хорошей водоудерживающей способностью. Частицы илистой фракции (диаметр меньше 0.001 мм) имеют очень плохую водопроницаемость, и способны удерживать большое количество влаги (Качинский, 1958). В таблице 4 дано процентное содержание частиц разного размера в почвах тестовых участков в Новосибирской области.

В работе (Hengl, 2007) введен спектральный индекс глины $CI=B11/B12$ (Clay Index), который отличается сильной отрицательной корреляцией с содержанием глины в почве. На рисунке 3 приведены значения $CI=B11/B12$ для двух дат 23/04/2019 и 22/04/2020, что позволяет сделать качественное сравнение изменений за год в содержании глины в верхнем слое почвы исследуемых тестовых площадок №1-№5. Изменения за год по содержанию глины не коснулись площадки №5, для площадок №2-№4 есть небольшое увеличение содержания глины, и небольшое уменьшение для площадки №1.

Таблица 4.

№ площадки	1	2	3	4	5	6
Количество частиц диаметром <0.01 мм (%) (‘физическая’ глина)	46.3	43.2	48.2	45.2	44.9	45.8
Количество частиц диаметром >0.01 мм (%) (‘физический’ песок)	53.7	56.8	51.8	54.8	55.1	54.2
Количество частиц диаметром <0.001 мм (%) (ил)	20.7	23.4	26.1	22.3	20.5	20.8

Рис. 3.

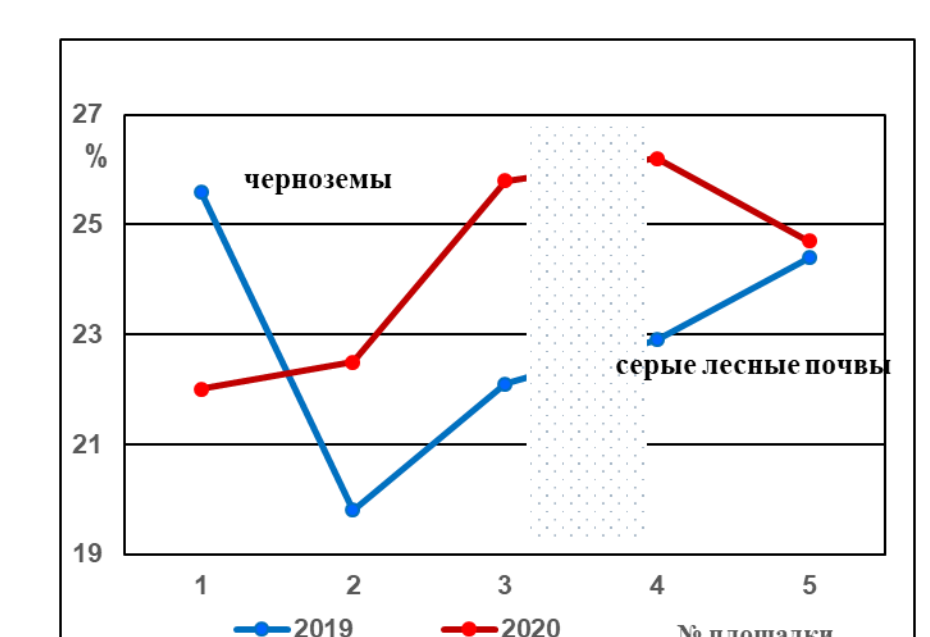


Для количественной оценки процентного содержания глины в почве воспользуемся регрессионной моделью (Castaldi et al., 2019) экспоненциальной связи содержания в почве органического углерода с КО. Для случая с глиной в качестве переменной в экспоненте используем индекс глины $CI=B11/B12$, имеющий отрицательную корреляцию с содержанием глины в почве. Формула для количественной оценки процентного содержания глины в почве такая: $Clay(\%)=802 \cdot \exp(-2.69 \cdot CI)$ – для черноземов, $Clay(\%)=5123.6 \cdot \exp(-4.29 \cdot CI)$ – для серых лесных почв. Часть наземных измерений содержания глины в почве тестовых участков Новосибирской области была использована для получения параметров экспоненты, а оставшаяся часть – для валидации. Следует отметить, что количество наземных измерений недостаточно для надежности применения полученных формул.

Проверка на наличие корреляции CI с элементами текстуры почвы показала, что отрицательная корреляция CI с илом и ‘физической глиной’ отсутствует. В формулах Clay- это частицы с диаметром больше 0.001мм и меньше 0.01 мм.

На рис. 4 приведены графики значений процентного содержания глины в почвах пяти тестовых участков (измеренные значения) и подсчитанные по формулам выше для 2020 года.

Рис. 4. Количественная оценка изменений значений процентного содержания глины в почвах тестовых площадок за год.



Заключение

В работе дана оценка содержания гумуса и глины в верхнем слое почвы на 6 тестовых участках с черноземами и серыми лесными почвами в Новосибирской области в апреле 2019 и 2020 годов на базе использования наземных измерений, регрессионных моделей и спутниковых данных S2. Показано изменение содержания в почве гумуса и глины за год.

Литература

- Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения.// М.: Изд-во АН СССР. 1958. 192 с.
- Караванова Е.И., Орлов Д.С. Оценка содержания гумуса в почвах по их спектральной отражательной способности// Агрохимия, 1996, №1, с. 3-9.
- Орлов Д.С., Суханова Н.И., Розанова М.С. Спектральная отражательная способность почв и их компонентов. М.: МГУ, 2001.175с
- Castaldi, F., Chabrilat, S., Don, A., van Wesemael, B.// Remote Sensing, 11, 18. 2019. DOI: <http://doi.org/10.3390/rs11182121>
- Demattêa, J.A.M., Fongaroa C. T., Rizzob R., Safanelia J. L. // Remote Sensing of Environment, 212. 2018. 161–175.
- Hengl, T. A Practical Guide to Geostatistical Mapping of Environmental Variables//2007, EUR (Luxembourg), EUR. Scientific and technical research series (Том 22904), Publications Office, 2007, 143 p.