

СПУТНИКОВАЯ ОЦЕНКА ТЕКСТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ ПО РАДАРНЫМ И ОПТИЧЕСКИМ ДАННЫМ АППАРАТОВ SENTINEL НА ПРИМЕРЕ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

Н. В. РОДИОНОВА¹, С. Я. КУДРЯШОВА², А. С. ЧУМБАЕВ²

¹ *Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН),*

Фрязино, Московская область, rnv@ire.rssi.ru;

² *Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (ИПА СО РАН),*

Новосибирск, sya55@mail.ru;

² *Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (ИПА СО РАН),*

Новосибирск, chas30@mail.ru

Аннотация. В работе рассматривается использование радарных и оптических данных спутников Sentinel 1 и Sentinel 2 за 2019-2020 годы для оценки процентного содержания глины и влажности в верхнем слое почвы на примере черноземов и серых лесных почв Новосибирской области.

Ключевые слова. Радарные данные С-диапазона, коэффициент обратного рассеяния, мультиспектральные данные, коэффициент отражения, содержание глины в почве, влажность почвы.

Введение

На оптические свойства почвы влияют, в основном, ее минеральный состав, текстура, содержание органического вещества, влажность. Для дистанционного восстановления этих параметров используют различные группы спектральных индексов. По радарным данным можно восстановить шероховатость и диэлектрическую проницаемость почвы, которая зависит от влажности и текстуры почвы.

В данной работе рассматривается использование радарных данных спутника Sentinel 1 (S1) и оптических данных спутника Sentinel 2 (S2) за 2019-2020 годы для оценки содержания влажности и глины (Clay) в верхнем слое почвы (0-10 см) на примере черноземов и серых лесных почв Новосибирской области.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являются почвы шести тестовых участков, расположенных в Новосибирской области (выделены красным прямоугольником на рис. 1 (вверху)). Детальная карта расположения черноземов и серых лесных почв с номерами тестовых площадок показана в нижней части рисунка 1. На участках были взяты образцы почв на глубине 0-10 см (данные сентября 2019 года), и в лабораторных условиях определен гранулометрический состав почв. В таблице 1 приведены координаты и измеренные значения механического состава образцов почв для двух из шести тестовых участков.

В работе использованы радарные данные S1 С-диапазона IW (interferometric wide swath) моды с поляризацией VV и VH, пространственным разрешением (ПР) 10 м и временным разрешением 12 дней. Угол обзора составляет 42.66° - 42.81°. Работа с изображениями S1 осуществлялась с помощью программы SNAP (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/toolboxes/sentinel-1>). Предварительная обработка данных включала выделение фрагмента с исследуемой областью и радиометрическую калибровку.

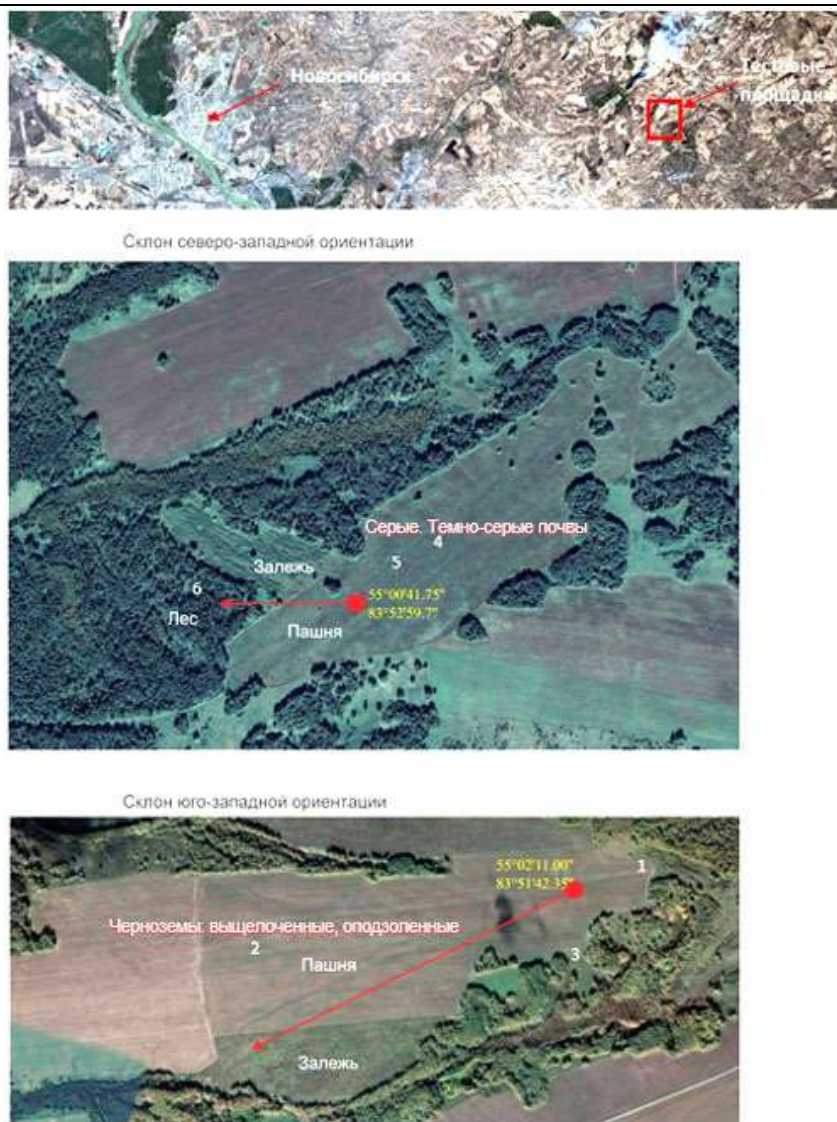


Рис. 1. Место расположения тестовых площадок

Таблица 1. Описание отдельных тестовых площадок

№ площадки	Координаты с.ш., в.д.	Глина, %	Песок, %	Ил, %
№1. Чернозем выщелоченный, несмытая пашня	55°02'12.3'', 83°51'47.8''	25.6	53.7	20.7
№4. Серая лесная почва, несмытая пашня	55°00'42.0'', 83°53'01.1''	22.9	54.8	22.3

Кроме радарных, в работе использованы мультиспектральные (МС) данные S2 с периодичностью съемки каждым спутником 10 дней. В МС камере 13 каналов с разным ПР от 10 до 60 метров. Использовались данные съемочной системы S2 с уровнем обработки L2A. Работа с изображениями S2 осуществлялась программой SNAP. Использованы безоблачные сеансы за апрель-май 2019 и 2020 годов.

Для спутниковой оценки содержания глины в почве накладываются ограничения на выбор МС изображений, связанные с выделением на изображениях сухих почв без растительности. В работе (Dematte et al., 2018) приведены условия, которые для каналов S2 даны в виде (Castaldi et al., 2019): 1) нулевая облачность, 2) $NDVI=(B8-B4)/(B8+B4)<0.35$, 3) разность коэффициентов отражения (КО) $(B3-B2)>0$ и $(B4-B3)>0$, 4) $NBR=(B11-B12)/(B11+B12)<=0.05$. Итого для исследуемой

территории выбраны снимки S2 L2A за 23.4.2019 и 22.4.2020, где требуемые условия выполнены для всех площадок, кроме площадки №6 (лес).

Результаты и обсуждение

Известно, что спектральный индекс глины $CI=SWIR1/SWIR2$ (Clay Index), введенный в работе (Hengl, 2007), отличается сильной отрицательной корреляцией с содержанием глины в почве. На рисунке 2 (а) приведены графики значений $CI=B11/B12$ для сеансов S2 23.4.2019 и 22.4.2020, позволяющие сравнить изменения за год в содержании глины в верхнем слое почвы площадок №1-№5. Изменения за год не коснулись площадки №5, для площадок №2-№4 есть небольшое увеличение содержания глины, и небольшое уменьшение для площадки №1.

Используя регрессионную модель (Castaldi et al., 2019) с переменной в экспоненте CI, получаем формулы для количественной оценки процентного содержания глины в почве: $Clay(\%)=802*exp(-2.69*CI)$ – для черноземов, $Clay(\%)=5123.6*exp(-4.29*CI)$ – для серых лесных почв. Часть наземных измерений содержания глины в почве тестовых участков была использована для получения параметров экспоненты, а оставшаяся часть – для валидации. На рисунке 2 (б) приведены графики значений процентного содержания глины в почвах пяти тестовых участков (измеренные значения) и подсчитанные по формулам, приведенным выше, для 2020 года. Качественная оценка содержания глины в почвах тестовых участков по значению индекса глины не противоречит количественной оценке по регрессионной модели.

Для оценки влажности почвы в работе использованы три подхода: 1) оценка по оптическим данным, 2) по радарным данным и 3) совместно по оптическим и радарным данным. Для первого случая применена работа (Burapapol et al., 2016), где для оценки влажности почвы используется индекс NDDI (normalized difference drought index): $NDDI = \frac{NDVI-NDWI}{NDVI+NDWI}$, где $NDWI = \frac{B8A-B12}{B8A+B12}$ - (normalized difference wet index), B8A, B12 – спектральные каналы S2. Авторами показано, что бóльшие значения NDDI соответствуют меньшим значениям влажности почвы. График NDDI для исследуемых площадок с черноземами (площадки №1, №2, №3 (целина)) и серыми лесными почвами (№4, №5, №6 (лес)) показан на рисунке 3 (слева) для сеансов за апрель (20, 27, 30) и май (10, 12, 17) 2020 года. Выявилась сильная дифференциация значений NDDI для разных площадок для сеанса 20.4.2020 и группировка тестовых участков по близким значениям влажности почвы. Самой большой влажностью обладает почва площадки №6 (лес). Самой малой влажностью отличаются площадки №4, №5 (серые лесные почвы, пашня) и №3 (черноземы, целина). Между этими крайними значениями группируются площадки №1 и №2 (черноземы несмытые и смытые, пашня). При переходе от апреля к маю дифференциация площадок по значениям NDDI значительно уменьшается, приводя к близости значений для всех тестовых площадок.

Для количественной оценки влажности почвы по радарным данным в настоящее время есть много эмпирических и полуэмпирических моделей, применимость которых имеет ограничения на шероховатость поверхности, угол обзора и значение объемной влажности почвы до 35%. Наиболее известной является модель Dubois (Dubois et al., 1995). В работе (Baghdadi et al., 2016) предложена полу-эмпирическая модель на базе модели Dubois, дающая более точную оценку влажности почвы, но при тех же ограничениях на применимость.

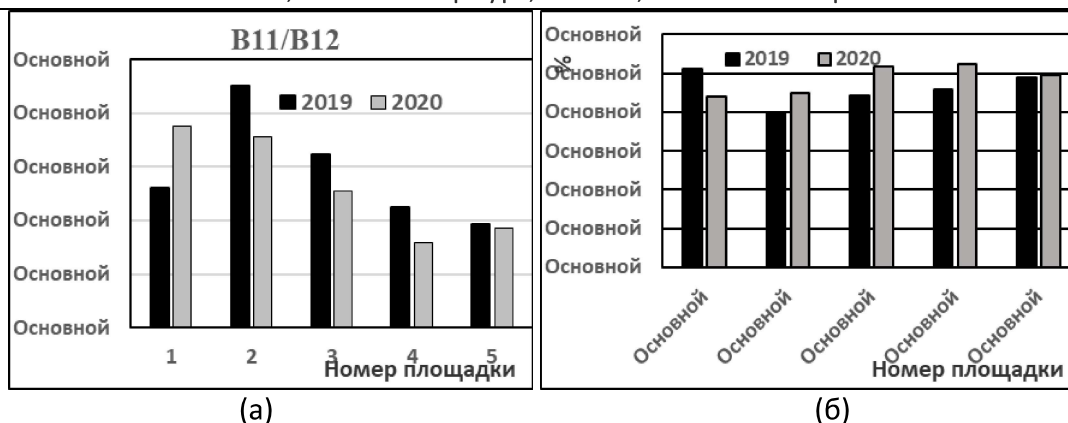


Рис. 2. Изменение значений индекса глины CI за год (а) и количественная оценка изменений значений процентного содержания глины в почвах тестовых площадок (б)

На основе совместного использования радарных данных Sentinel 1 и оптических данных Landsat 8 OLI и модели водяного облака (water cloud model) авторами (Bao et al., 2018) предложен новый метод восстановления поверхностной влажности почвы SSM (surface soil moisture) в условиях частичной растительности с высокой точностью (коэффициент корреляции $R=0.911$, $СКО=0.053 \text{ см}^3/\text{см}^3$ между измеренной и полученной по модели SSM). Формула для определения объемной влажности почвы SSM в слое 0-5 см такова:

$$SSM = 0.539 + 0.044\sigma_{VV}^0 + \sigma_{VV}^0 \sec\theta(-0.008 + 0.016NDWI + 0.031NDWI^2) + NDWI(0.444 + 2.964NDWI + 11.15NDWI^2 - 33.75NDWI^3)$$

где SSM измеряется в $\text{см}^3/\text{см}^3$, σ_{VV}^0 в дБ. Следует отметить (Bao et al., 2018), что данная модель игнорирует влияние шероховатости поверхности и типа растительности.

Для вычисления SSM использовались радарные данные за 23 апреля и 5 мая 2020 года, а оптические, соответственно, за 22 апреля и 10 мая 2020 года. На рисунке 3 (справа) показаны графики изменения SSM ($\text{см}^3/\text{см}^3$) для двух соседних дат радарной съемки 23 апреля и 5 мая 2020 года.

Полученные оценки влажности верхнего слоя почвы как качественные по оптическим данным (рис. 3 (слева)), так и количественные по радарным данным (не показаны из-за ограничения объема статьи) и при совместном использовании радарных и оптических данных (рис. 3 (справа)), показали их непротиворечивость, общие тренды и возможность дистанционно сравнить степень влажности верхнего слоя почвы для разных тестовых участков при отсутствии наземных измерений.

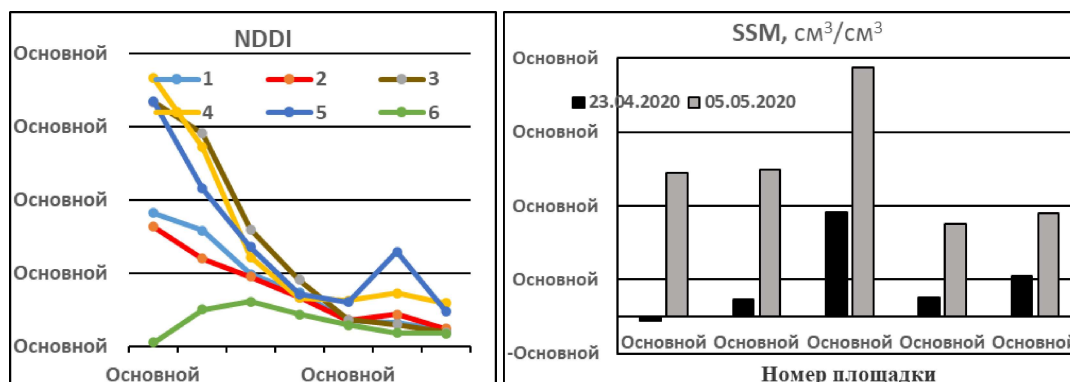


Рис. 3. Графики NDDI для исследуемых площадок за апрель, май 2020 года и графики изменения SSM ($\text{см}^3/\text{см}^3$) для соседних дат радарной съемки 23.4.20 и 5.5.20

Выводы

В работе сделана оценка процентного содержания глины и влажности верхнего слоя почвы шести тестовых участков Новосибирской области. Показаны вариации процентного содержания глины за год. Сделана оценка влажности верхнего слоя почвы тестовых участков на основе радарных и оптических данных, а также на основе их совместного использования.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме 0030-2019-0008 “Космос”, и в рамках государственного задания ИПА СО РАН.

Список литературы / References

1. Baghdadi N., Choker M., Zribi M., El Hajj M., Paloscia S., Verhoest N. E. C., Lievens H., Baup F. and Mattia F. A New Empirical Model for Radar Scattering from Bare Soil Surfaces//Remote Sens. 2016. Vol. 8. 920. P. 1-14. DOI: 10.3390/rs8110920.
2. Bao Y., Lin L., Wu Sh., Deng Kh. A. K., Petropoulos G. P. Surface soil moisture retrievals over partially vegetated areas from the synergy of Sentinel-1 and Landsat 8 data using a modified water-cloud model// Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation. 2018. Vol. 72. P. 76-85.
3. Burapapol K., Nagasawa R. Mapping Soil Moisture as an Indicator of Wildfire Risk Using Landsat 8 Images in Sri Lanna National Park, Northern Thailand//Journal of Agricultural Science. 2016. Vol. 8. No. 10. P. 107-119. ISSN 1916-9752 E-ISSN 1916-9760.
4. Castaldi F., Chabrillat S., Don A., van Wesemael B. Soil Organic Carbon Mapping Using LUCAS Topsoil Database and Sentinel-2 Data: An Approach to Reduce Soil Moisture and Crop Residue Effects// Remote Sensing. 2019. Vol.11. 18. P. 1-15. DOI: <http://doi.org/10.3390/rs11182121>
5. Demattêa, J.A.M., Fongaroa C. T., Rizzob R., Safanellia J. L. // Remote Sensing of Environment. 2018. 212. P. 161–175.
6. Dubois P. C., Van Zyl J., Engman T. Measuring soil moisture with imaging radars// IEEE Trans. GRS. 1995. Vol. 33. P. 915-926.
7. Hengl T. A Practical Guide to Geostatistical Mapping of Environmental Variables. 2007. EUR (Luxembourg). EUR. Scientific and technical research series (Vol. 22904). Publications Office. 2007. 143 p. ISBN 9279069047.

ASSESSMENT OF TEXTURE AND HUMIDITY CONTENT IN THE UPPER SOIL LAYER FROM RADAR AND OPTICAL DATA OF SENTINEL 1, 2 SATELLITES IN CONDITIONS OF THE NOVOSIBIRSK REGION

N. V. RODIONOVA¹, S. YA. KUDRYASHOVA², A. S. CHUMBAEV²

¹*Institute of Radioengineering and Electronics, Fryazino, Russia, rnv@ire.rssi.ru;*

²*Institute of Soil Science and Agrochemistry, Novosibirsk, Russia, sya55@mail.ru;*

²*Institute of Soil Science and Agrochemistry, Novosibirsk, Russia, chas30@mail.ru*

Abstract. The paper considers the use of radar and optical data from the Sentinel 1 and Sentinel 2 satellites for 2019-2020 to estimate the percentage of clay and moisture in the upper layer of the soil on the example of chernozem and gray forest soils of the Novosibirsk region.

Keywords. C-band radar data, backscattering coefficient, multispectral optical data, reflection coefficient, soil clay content, soil moisture.