

2. Белоруцева Е.В. Мониторинг состояния сельскохозяйственных угодий Нечерноземной зоны Российской Федерации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9. – № 1. – С. 57-64.
3. Белоусова А.П. Анализ использования пахотных земель по спутниковым снимкам landsat на примере Кунгурской лесостепи // Географический вестник = Geographical bulletin. 2018. №4(47). С. 133–143.
4. Петров А. В. Почвы агропредприятия "Передовик" Пермского края: почвенный очерк / А. В. Петров, И. С. Сидорова; под ред. В. Г. Лобанова; Перм. гос. аграр. ун-т. — Пермь: Агрипресс, 2005. — 144 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ SENTINEL-1 ДЛЯ НУЖД ПОЧВЕННОГО КАРТИРОВАНИЯ

Сорокина Мария Георгиевна, студент 2 курса института агробиотехнологии, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, mashundel.s@gmail.com

Крохина Алина Владимировна, студент 2 курса Института агробиотехнологии, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, alina.krokhina1605@gmail.com

(Научный руководитель - Агеев Кирилл Дмитриевич, аспирант 2 года обучения, Института агробиотехнологии, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, k.ageev@rgau-msha.ru)

Аннотация: статья посвящена анализу перспектив использования спутниковой системы Sentinel-1 для нужд почвенного картирования. Проведен анализ работы системы и вариантов ее использования в почвоведении. Также изучены преимущества и недостатки данного метода в современном почвенном картировании.

Ключевые слова: почвенное картирование, Sentinel-1, спутниковые данные, радарные снимки, дистанционное зондирование земли

Введение. На современном этапе развития почвоведения, почвенное картирование рассматривают как один из основных методов, который позволяет комплексно оценить пространственное распределение свойств и разновидностей почв. Информация о неоднородности почвенных разностей особенно важна для планирования сельскохозяйственных мероприятий. Одно из главных преимуществ дистанционного зондирования это обзорность и высокая периодичность полученных данных, особенно, когда речь идет о радарных снимках, которые не зависят от облачности.

Широкое применение здесь находят спутниковые данные системы Sentinel-1, которая активно используется для задач почвенного картирования.

Главное достоинство Sentinel-1 заключается в её способности фиксировать данные вне зависимости от наличия облачности и освещённости,

что значительно повышает надёжность и оперативность оценки изменений состояния почв для создания почвенных карт.

Использование Sentinel-1 в почвенном картировании.

Спутниковая система Sentinel-1 применяется для анализа почвенной влажности с помощью радиолокационных данных. Sentinel-1 обладает высоким пространственным разрешением, порядка 10 м, это значительно превышает возможности многих современных спутниковых радиометров, и создает условия для анализа даже небольших и узких участков неоднородных почв на территориях сельскохозяйственного назначения. Таким образом, открываются возможности для оценки влажности поверхностного слоя почвы с высокой точностью, это, в свою очередь, позволяет выявлять территории с повышенным риском водной эрозии почвы или нежелательного стока воды [1], который может пагубно сказываться на сельскохозяйственных растениях.

Эти данные могут быть использованы для создания высокоточных карт, которые значительно упрощают процесс оценки пригодности земель для сельского хозяйства, ускоряют и оптимизируют работу по обнаружению почвенных нарушений и обеспечивают их своевременное устранение.

Примеры использования Sentinel-1 в почвенном картировании.

Одним из примеров применения Sentinel-1 для почвенного картирования является исследование, проведенное университетом Суррея в Великобритании, опубликованное в журнале *Remote Sensing* (2025). Исследование было сосредоточено на 17 участках Британской системы наблюдения за влажностью почвы, классифицированных как сельскохозяйственные и садоводческие. В результате были получены данные о влажности почвы в форме объемного содержания воды. Эти данные соответствовали области почвы радиусом 150-200 м, благодаря чему проведенные измерения были более показательными для определения влажности почвы, чем данные с зондов, фокусирующихся на больших территориях. Для всех наблюдений S1 на всех исследуемых участках в указанный период был измерен коэффициент обратного рассеивания VV, после чего была проанализирована связь между обратным рассеиванием VV и влажностью почвы. Полученные результаты соотнесли с типами почв на исследуемых участках и установили зависимость связи S1 и VV от типа исследуемой почвы. Было установлено, что у участков с большим содержанием глины градиент рассеивания показателей имеет больший уклон, чем у участков с меньшим содержанием глины [5].

Другим примером является проведенное в Корее в 2022 году исследование содержания влаги в почве. Исследование основывается на изображениях, полученных с помощью Sentinel-1. Исследуемые изображения были собраны с 12-дневным интервалом в течение 5 лет, с 2015 по 2019 год. Таким образом, периодичность изображений позволяла наиболее четко

проследить состояние почвы в необходимый момент. По итогу было получено 93 и 95 изображений со спутников Sentinel-1A и Sentinel-1B соответственно.

Изначально у изображений не было данных об орбите, поэтому было необходимо выполнить коррекцию. Кроме того, с изображений было необходимо удалить тепловой шум и произвести радиометрическую коррекцию для оценки коэффициента обратного рассеяния. Радиометрическая коррекция и удаление теплового шума являются обязательными этапами, поскольку некорректное значение σ^0 приводит к искажению зависимости между обратным рассеянием и фактической влажностью почвы.

В ходе исследования была проанализирована связь коэффициента обратного рассеяния и содержания влаги в почве. На основе выявленной закономерности были составлены графики соотношения между содержанием влаги в почве и коэффициентом обратного рассеяния, которые предоставлены на рисунке 1 [4].

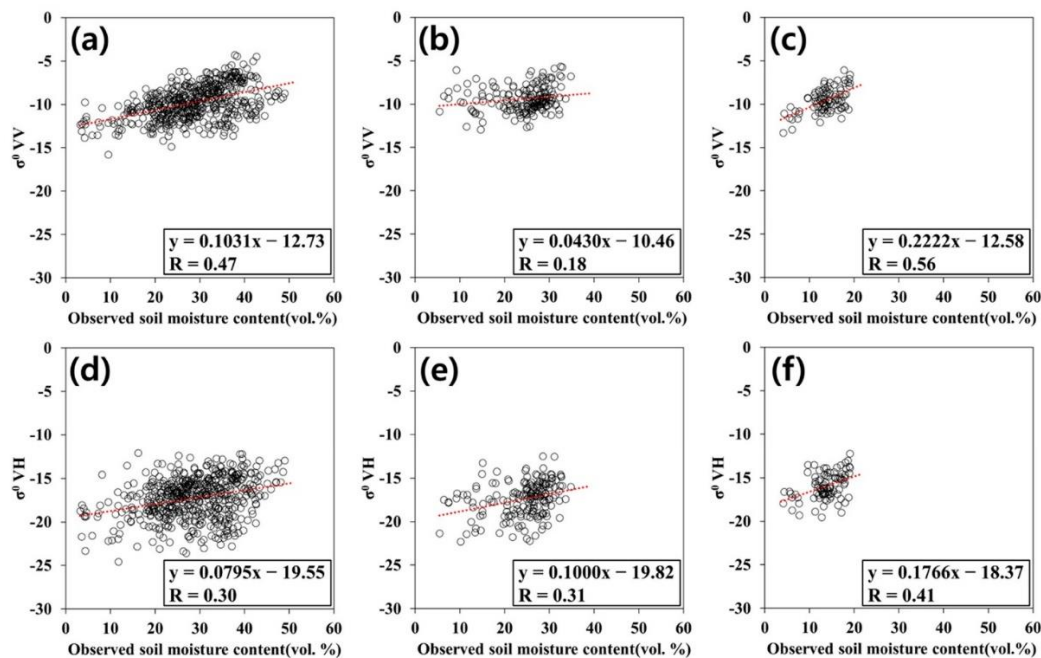


Рисунок 1 – Взаимосвязь содержания влаги и коэффициента рассеяния согласно снимкам 2015-2019 гг.

На графиках предоставлена корреляция, свидетельствующая о том, что VV-поляризация лучше коррелирует с влажностью почвы, что особенно заметно на открытых или обработанных участках, в то время как на VH-поляризацию сильнее влияет растительность и особенности рельефа. Голые почвы способствуют лучшей чувствительности, так как на них отсутствует шум, вносимый растительностью. Также можно сделать вывод, что, так как пример С обладает самым высоким показателем корреляции, в нем возможны наиболее точные предсказания параметров почвы.

Согласно рассмотренным примерам, можно постановить, что на практике Sentinel-1 не только для определения показателей влажности, но и для выявления взаимосвязей влажности почвы с коэффициентом рассеяния и построения последующих выводов.

Преимущества использования Sentinel-1 в почвенном картировании.

Главным преимуществом использования данных, полученных с помощью Sentinel-1, является чувствительность системы к влажности почвы. Радары системы чувствительны к диэлектрической проницаемости почвы, что открывает возможности для точного анализа влажности почвы [3]. Благодаря этому проведенное с помощью Sentinel-1 картирование может помочь предотвратить использование для сельскохозяйственных нужд земель, непригодных по содержанию в них влаги, или даже несущих в себе риски водной эрозии.

Кроме того, радары Sentinel-1 чувствительны к шероховатостям и прочим мелким особенностям участков почвы благодаря анализу коэффициента обратного рассеяния [3]. Это является преимуществом, потому что на основе этих данных возможно составить выводы о текстуре и прочих физических характеристиках почвы, что поможет составить представление о том, какие методы обработки будут более эффективными для работы с интересующим исследователей участком почвы.

Таким образом, Sentinel-1 предоставляет точные данные об участках почвы, в частности их влажности и текстуре, благодаря которым возможен подробный анализ особенностей почвы и даже дальнейшее прогнозирование.

Ограничения при использовании Sentinel-1.

При работе с любой системой необходимо понимать её особенности и ограничения, чтобы корректно выбрать методы, способные компенсировать эти недостатки. К примеру, Sentinel-1 не обладает способностью определять влажность почвы глубже верхнего слоя, так как сканирует непосредственно поверхность почвы [2]. Из-за этого возможны неточности при анализе влажности почвы, особенно в ситуациях, когда поверхностная и глубинная влажность сильно отличаются. Эта проблема может быть решена с помощью установки наземных датчиков в зонах, где прогноз глубинных данных по поверхностным затруднен ввиду особенностей местности.

Еще одним ограничением при использовании Sentinel-1 является чувствительность системы к растительному покрову. Растительный покров, тем более плотный, затрудняет сканирование интересующих местностей, выступая в роли своеобразного “экрана” [2]. Таким образом, чем более “заросшей” является местность, тем сложнее системе получить данные о почве на данном участке. Однако использование параллельно моделей двухслойного рассеяния решит проблему, позволив получить искомые данные, несмотря на возможную плотность растительного покрова.

На основе этого можно сделать вывод о том, что использование данных Sentinel-1 в комплексе с данными других спутников и датчиков, а также использование моделей двухслойного рассеяния помогает преодолеть ограничения, возникающие при картировании почвы сепаративно от других источников информации.

Вывод.

Спутниковая система Sentinel-1 является действительно эффективной для почвенного картирования благодаря хорошей способности к анализу влажности почвы и текстуры ее поверхности. Оптимальная точность достигается на открытых или слабозадернованных участках, где VV-поляризация обеспечивает наилучшую корреляцию с влажностью. В условиях плотного растительного покрова требуется использование двухслойных радиолокационных моделей или совмещение SAR с оптическими данными.

Результаты анализа, совершенного с помощью данных Sentinel-1, находят свое применение в сфере оценки пригодности земель для сельскохозяйственного использования. Несмотря на то, что система обладает своими нюансами и недостатками, возникающие проблемы решаемы с помощью использования дополнительных источников данных. Таким образом, чтобы получить полноценный и достоверный результат, необходимо использовать Sentinel-1 в совокупности с другими методами дистанционного зондирования и полевыми исследованиями.

Список литературы

1. A.M. Zeyliger, K.V. Muzalevskiy, E.V. Zinchenko, O.S. Ermolaeva, *Field test of the surface soil moisture mapping using Sentinel-1 radar data*, Science of The Total Environment, Vol. 807, Part 2, 151121
2. Bazzi, H.; Baghdadi, N.; Nino, P.; Napoli, R.; Najem, S.; Zribi, M.; Vaudour, E. Retrieving Soil Moisture from Sentinel-1: *Limitations over Certain Crops and Sensitivity to the First Soil Thin Layer*. Water 2024, Vol. 16, Page 40.
3. Bousbih, S.; Zribi, M.; Lili-Chabaane, Z.; Baghdadi, N.; El Hajj, M.; Gao, Q.; Mougenot, B. *Potential of Sentinel-1 Radar Data for the Assessment of Soil and Cereal Cover Parameters*. Sensors 2017, Vol. 17, Page 2617.
4. Chung, J.; Lee, Y.; Kim, J.; Jung, C.; Kim, S. *Soil Moisture Content Estimation Based on Sentinel-1 SAR Imagery Using an Artificial Neural Network and Hydrological Components*. Remote Sens. 2022, Vol. 14, Page 465.
5. Stanyer, C.; Seco-Rizo, I.; Atzberger, C.; Marti-Cardona, B. *Soil Texture, Soil Moisture, and Sentinel-1 Backscattering: Towards the Retrieval of Field-Scale Soil Hydrological Properties*. Remote Sens. 2025, Vol. 17, Page 542.