

Нейросетевой метод восстановления влажности агропочвы двух тестовых участков в Волгоградской области и Красноярском крае на основе радарных данных Sentinel-1

А.М. Зейлигер¹, К.В. Музалевский², О.С. Ермолаева¹, Е.В. Зинченко³,
Л.Н. Вронская³, Т.С. Кашкарова⁴

¹ ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА
имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

² Институт Физики им. Л.В. Киренского СО РАН, Красноярск, Россия

³ ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого
земледелия, Волгоград, Россия

⁴ ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт масличных
культур имени В.С. Пустовойта

Объект исследований

Два тестовых участка, один из которых расположен на территории опытно-производственного хозяйства (ОПХ) Всероссийского научно-исследовательского института (ВНИИОЗ), находящегося вблизи пос. Водный, Волгоградской области, другой на опытном производственном поле ОПХ “Минино”, Красноярского научного центра СО РАН, Красноярский край.



В обоих случаях поверхность почвы имела выраженный микрорельеф, который был сформирован в результате запахивания поперек Склона. Содержание глинистой фракции в пахотном слое почв варьировалось в пределах от 20-38%.

Методика измерения влажности почвы

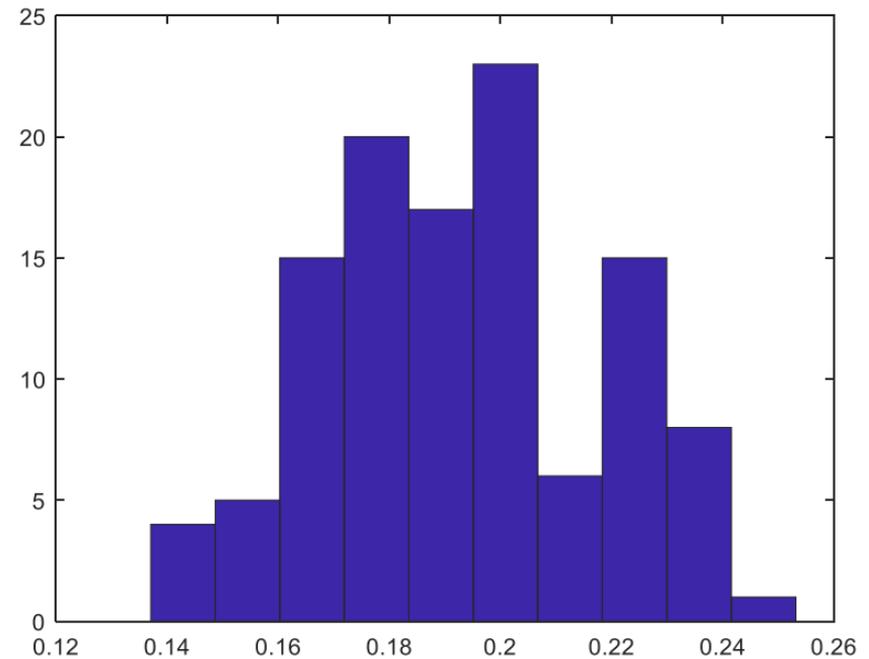
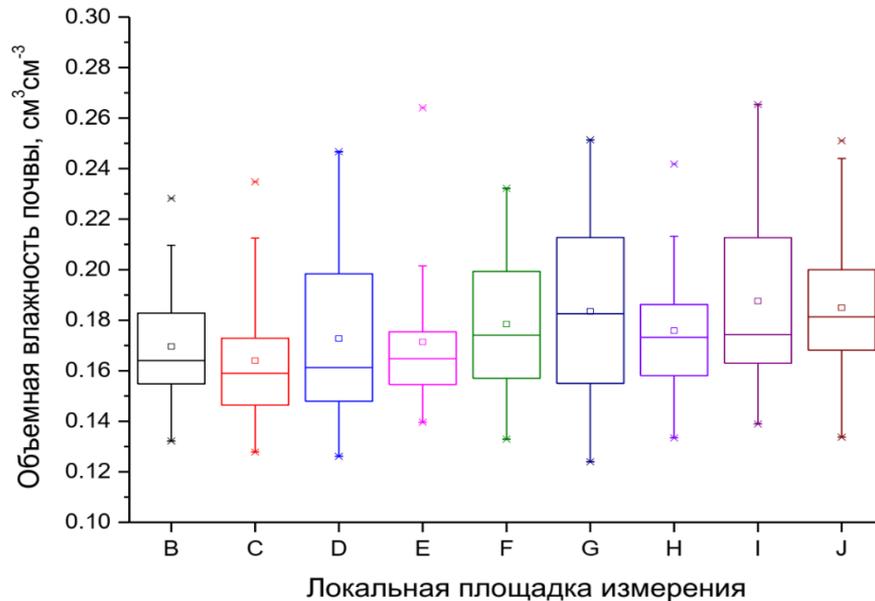
В качестве опорных значений влажности почвы использовались данные контактных измерений на тестовых участках. На первом тестовом участке (пос. Водный) термостатно-весовым методом измерялась влажность почвенных образцов отобранных из верхнего слоя почвы толщиной 5см. Геопривязка осуществлялась с использованием специально разработанного мобильного приложения и сервиса ArcGIS Online. На втором тестовом участке (с. Минино) влажность почвы измерялась датчиком EC-5 Decagon с использованием специально разработанного регистрирующего устройства, оснащенного GPS/ГЛОНАСС приемником. При этом в пределах тестового поля выбиралось 25 локальных площадок (размером ~2 на ~2м) на каждой из которых в 40-80 равномерно распределенных по площади точках проводились измерения влажности почвы в слое 5 см.



Пример измерений влажности почвы на тестовых полях с. Минино. Каждый крестик является геопривязанным локальным участком (средняя координата), которой соответствует усредненное значение влажности почвы в слое 5см, измеренное в 40-80 локальных точках.

Методика измерения влажности почвы

Столь детальные измерения влажности на втором тестовом участке показали, что необходимо учитывать локальные изменения влажности почвы в пределах площадки зондирования в ходе усреднения множественных локальных измерений влажности почвы. (см. ниже измерения от 14 июня 2020 на одном из локальных участков тестового поля с. Минино).



Столбиками отмечен диапазон вариаций влажностей, в которых попадают от 25% до 75% значений, звёздочками ограничены диапазоны максимальных и минимальных значений.

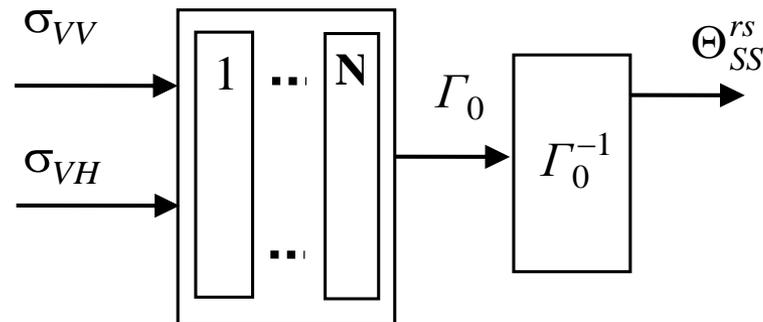
Типичный вид распределения измеряемых значений влажности поверхностного слоя почвы в пределах одной локальной площадки 2x2м.

Радарные данные спутника Sentinel-1 и методика их обработки

Для территорий тестовых участков использовались радарные снимки спутника Sentinel-1 (VV и VH поляризации), полученные на частоте 5,4 ГГц в интерферометрическом широкополосном режиме (IW GRD-амплитудные изображения спроецированные на поверхность земли с использованием модели эллипсоида Земли) с пространственным разрешением ~10м. Эти данные в стандартном формате (Standard Archive Format for Europe, SAFE) были получены из центра данных Европейского космического агентства и обработаны в программном обеспечении ESA SNAP с использованием цифровой модели рельефа, полученной с борта БПЛА марки Dji Phantom 4 Pro и его штатной камерой, обработка Agisoft PhotoScan.

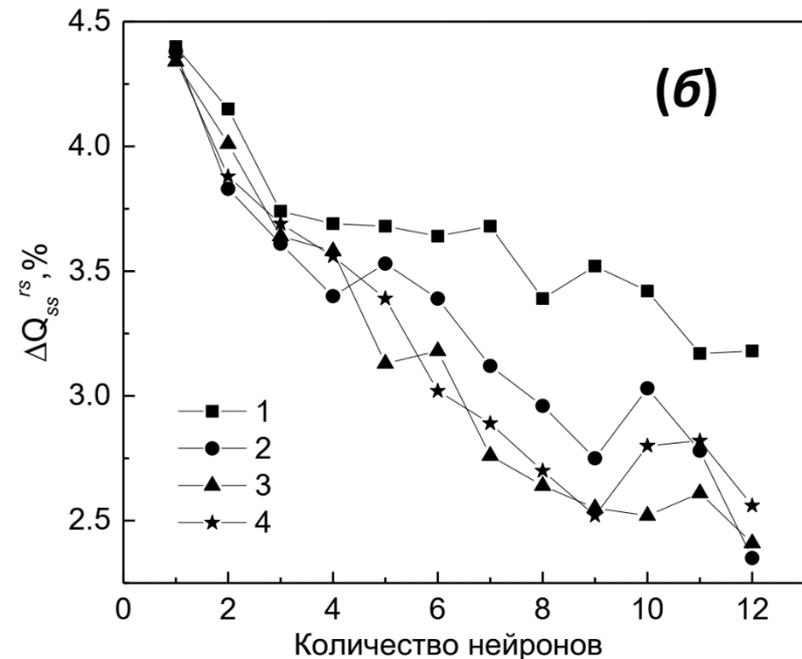
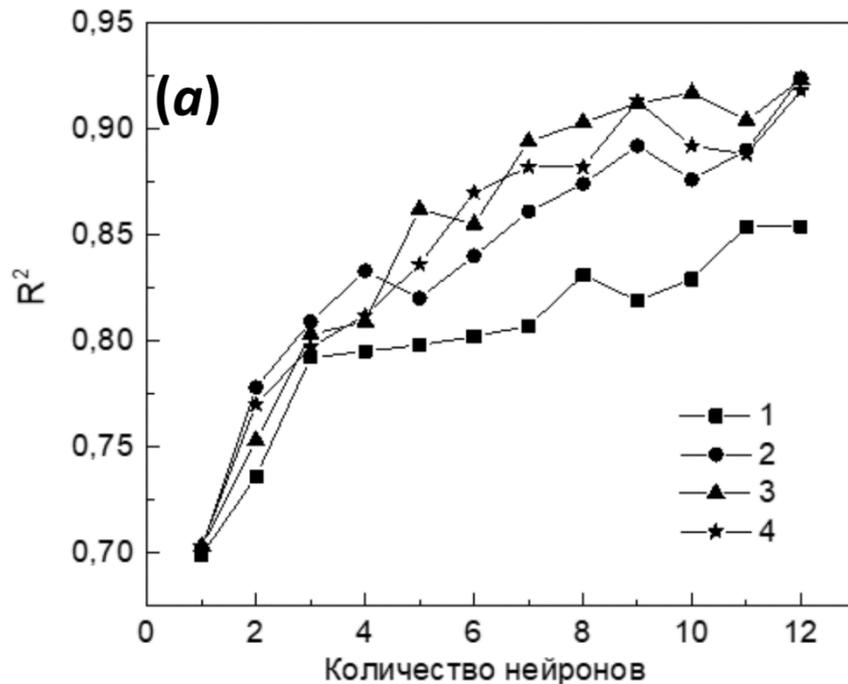
Методика восстановления влажности поверхности почвы, с использованием технологии нейронных сетей, на основе радарных данных спутника Sentinel-1

Метод оценки влажности почвы основан на применении нейронной сети с одним выходным параметром: коэффициент отражения волны от поверхности почвы (в надир) по мощности, Γ_0 и двумя входными значениями коэффициента обратного радарного рассеяния (КОРР), измеренного на согласованной вертикально-вертикальной и перекрестной вертикально-горизонтальной поляризациях. Была выбрана простейшая нейронная сеть (НС) прямого распространения, состоящая от одного до четырёх скрытых слоёв, в каждом из которых было от 1 до 30 нейронов. Моделирование нейронной сети выполнялось в среде программного обеспечения Matlab. Для тренировки НС использовались выходные значения Γ_0 , рассчитанные по формуле Френеля с использованием диэлектрической модели (Mironov et al., 2009) и значений влажности почв, измеренных на тестовых участках.



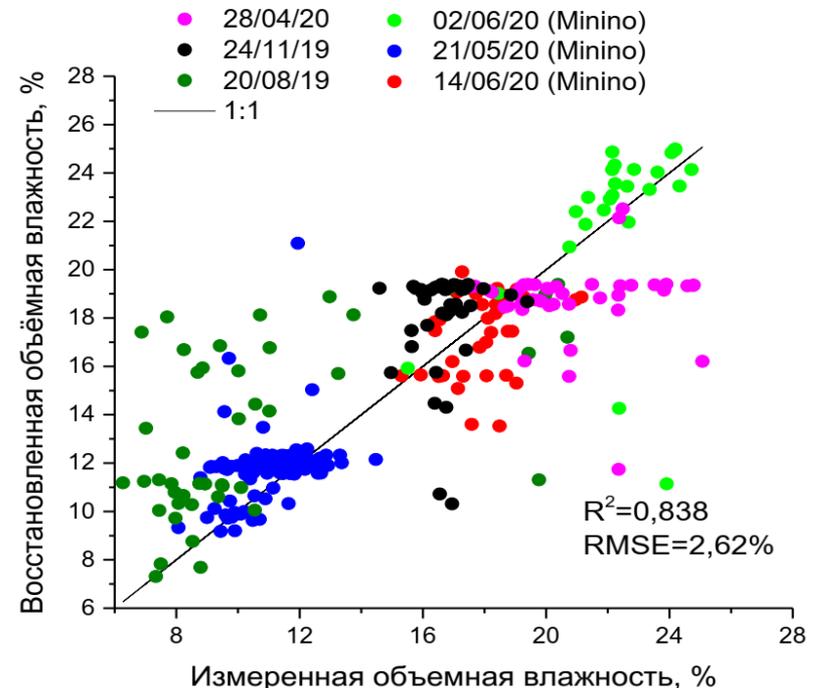
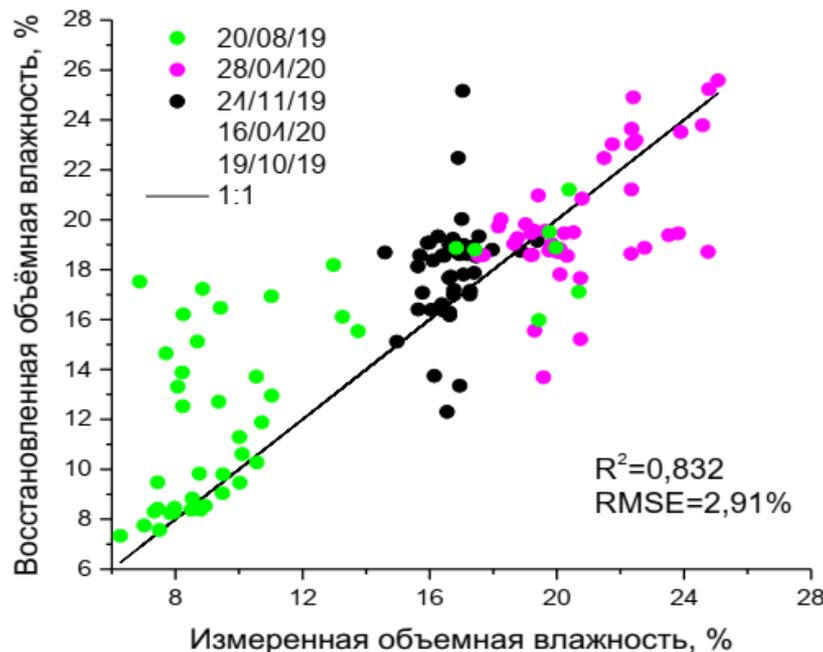
Методика восстановления влажности поверхности почвы, с использованием технологии нейронных сетей, на основе радарных данных спутника Sentinel-1

Численные эксперименты с НС показали, что увеличение числа используемых нейронов с 1 до 12 в каждом из скрытых слоев НС приводит к возрастанию коэффициента детерминации (R^2) и уменьшению среднеквадратического отклонения (ΔQ_{SS}^{rs}) между оцениваемыми и измеренными значениями влажности почвы. При этом использование больше двух скрытых слоев не приводит к дальнейшему росту точности оценок НС.



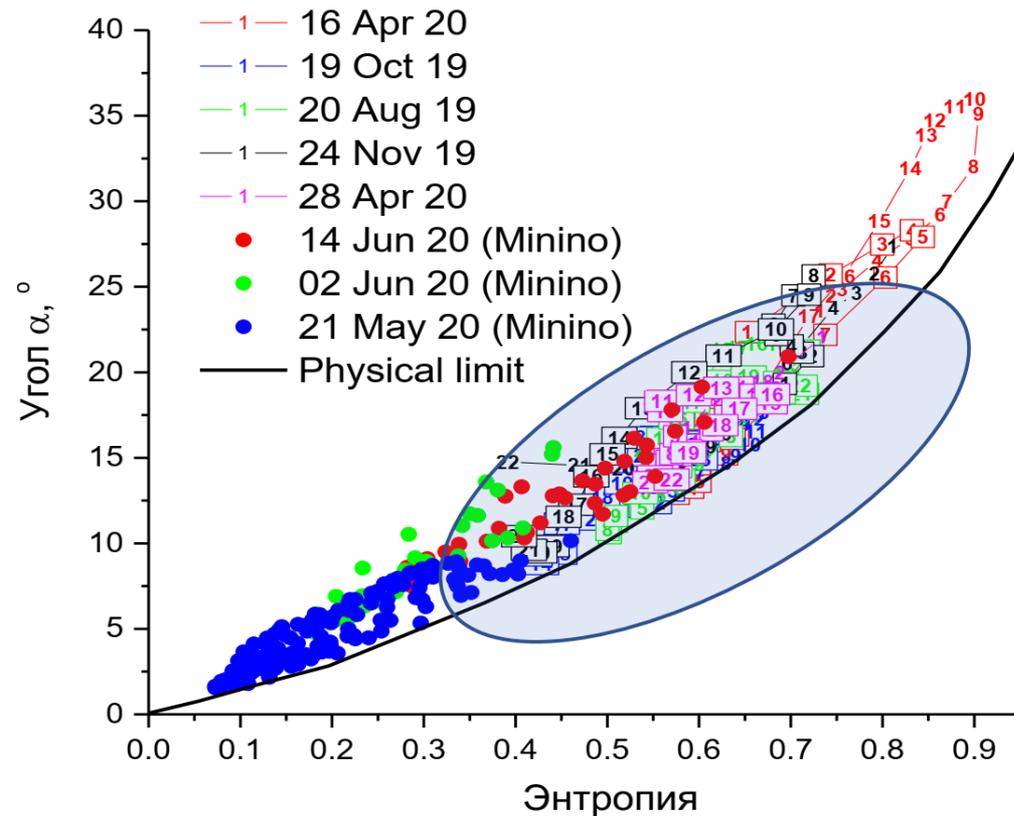
Методика восстановления влажности поверхности почвы, с использованием технологии нейронных сетей, на основе радарных данных спутника Sentinel-1

Проведенные компьютерные эксперименты с НС также показали, что для различных пар комбинаций входных значений КОРР наибольшее значение коэффициента детерминации между оцененными НС и рассчитанными значениями Γ_0 на основе контактных данных о влажности почвы наблюдаются при использовании в качестве двух входных величин КОРР на согласованных и перекрестных поляризациях. В результате в качестве рабочего варианта нами была выбрана НС, состоящая из двух скрытых слоёв по 12 нейронов в каждом. Ниже приведены результаты восстановления влажности почвы из данных Sentinel-1 с использованием НС в точках соответствующих координатам контактных измерений влажности почвы в районе пос. Водный (слева) и с. Минино (справа)



Рассеивающие свойства тестовых участков по данным поляриметрического анализа Sentinel-1

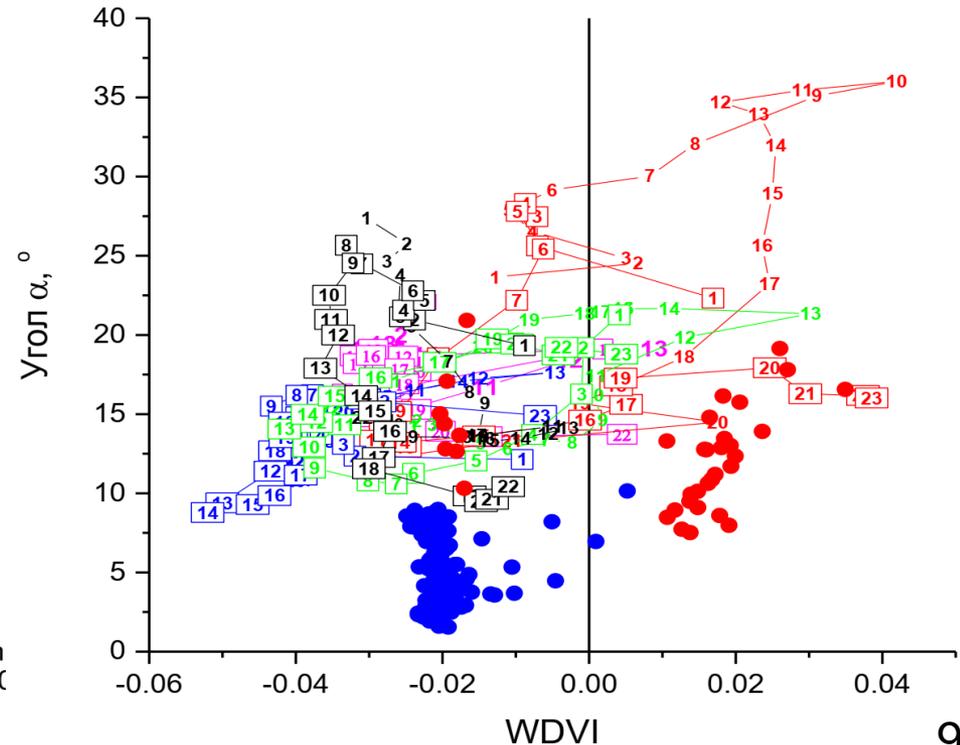
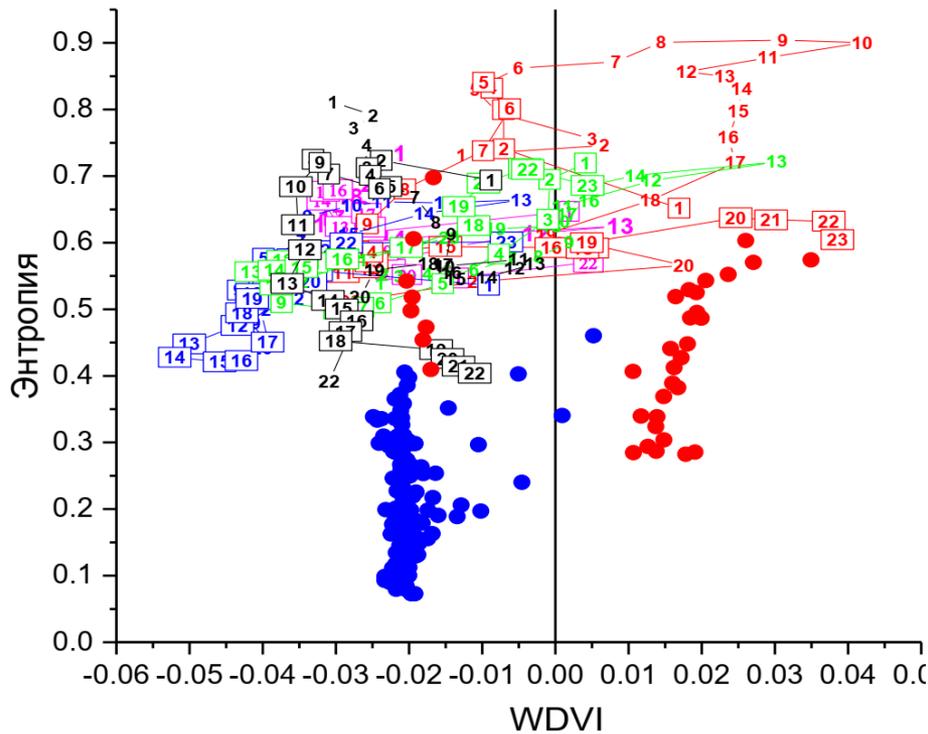
Зависимость угла α от энтропии в плоскости Н- α разложения для тестовых участков пос. Водный и с. Минино, говорит о близком преимущественно однократном диффузном рассеянии за счет хаотического влияния шероховатости поверхности почвы и растительного покрова.



По отношению к условиям пос. Водный условия рассеяния зондирующей волны покровом поля с. Минино можно охарактеризовать меньшей степенью шероховатости поверхности почвы и меньшей биомассой, рассеивающих элементов растительности (точки соответствующие Минино сосредоточены в областях меньших значений энтропии и угла α).

Рассеивающие свойства тестовых участков по данным поляриметрического анализа Sentinel-1

Более детально особенности рассеяния волны видны на графике в зависимостях энтропии и угла α от индекса WDVl. Эти диаграммы позволяют разделить участки поля покрытые и не покрытые растительностью (по положительным и отрицательным значениям индекса WDVl), а также оценить степень рассеивающих свойств зондируемой подстилающей поверхности (чем больше угол α и энтропия, тем больше влияет степень шероховатости и рассеивание волны на элементах растительного покрова).



Заключение

Проведённый поляриметрический анализ на основе Н- α -разложения с использованием комплексных изображений тестовых участков на двух поляризациях VH и VV выявил однократное рассеяние волны шероховатой поверхностью почвы, а также однократное диффузное рассеяние за счёт хаотического влияния элементов растительного покрова. При этом точки на диаграмме Н- α -разложения равномерно распределялись вдоль нижней границы физически значимых результатов Н- α -разложения при вариации энтропии (H) от 0,05 до 0,9 и угла α от ~ 2 до 37 градусов.

Показано, что диаграммы зависимостей угла α от индекса WdVI (рассчитанного на основе данных Sentinel-2) позволяют разделить участки тестовых полей, покрытые и не покрытые растительностью (по положительным и отрицательным значениям индекса WdVI), а также оценить степень рассеивающих свойств зондируемой подстилающей поверхности.

Нейронная сеть прямого распространения, состоящей из двух скрытых слоёв по 12 нейронов в каждом для пары входных значений KOPP на вертикально-вертикальной и вертикально-горизонтальной поляризациях (измеренных спутником Sentinel-1), позволяют в целом для тестовых участков рассчитать объемную влажность поверхности почвы со среднеквадратической погрешностью менее 3% и коэффициентом детерминации не хуже 0,83 относительно влажности почвы, измеренной термостатно-весовым методом и калиброванным датчиком влажности в нескольких десятках точек на тестовых участках за общий период исследований 2019-2020.

Спасибо за внимание!!!