

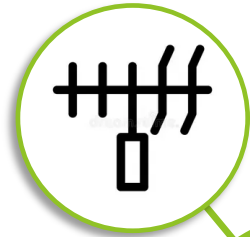
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛАГОПЕРЕНОСА В ПОЧВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ПЕНМАНА-МОНТЕЙТА ДЛЯ РАСЧЕТА ИСПАРЕНИЯ

Институт радиофизики и физической электроники ОНЦ СО РАН
К.В. Немчанов, А.С. Ященко

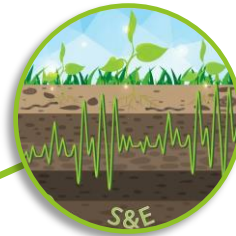
г. Омск

Актуальность

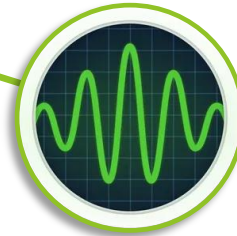
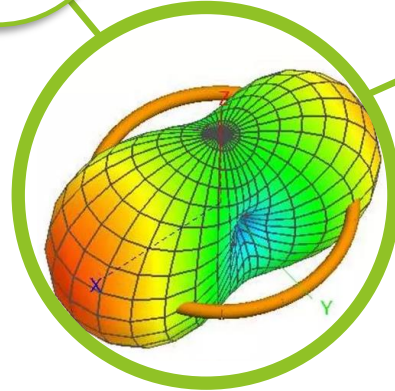
Факторы, влияющие на направленные характеристики антенн ДКМВ диапазона



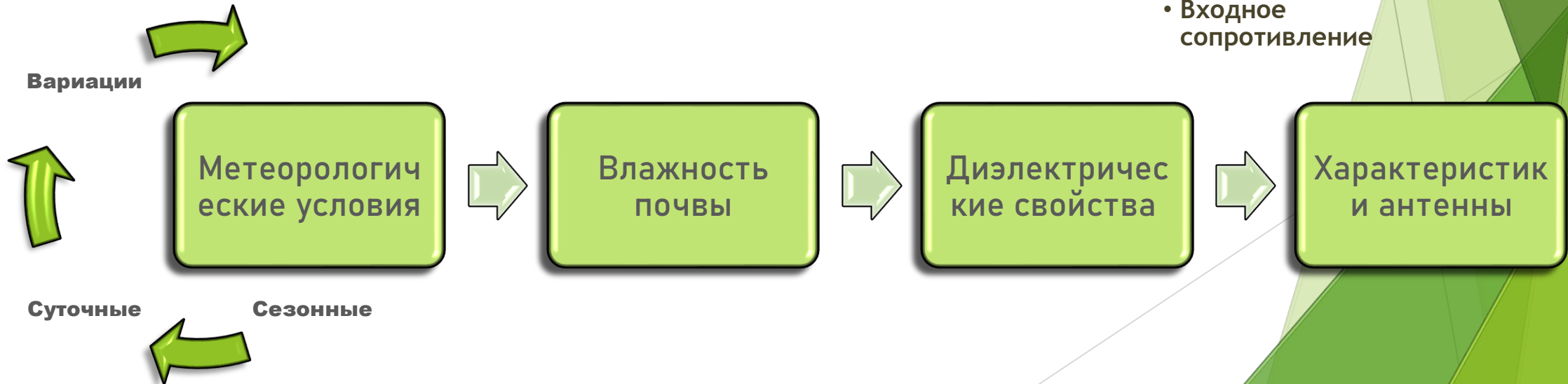
- Тип и размеры антенны
- Геометрия излучающей системы



- Электрические параметры поверхности земли
- Отражение радиоволн от поверхности
- Формирование земных лучей



- Частотный диапазон работы
- Поляризация излучения
- Распределение тока по элементам антенны
- Входное сопротивление



Цели и задачи



**Разработка модели прогнозирования
распределения влажности для
построения профиля КДП**

Моделирование динамики влажности

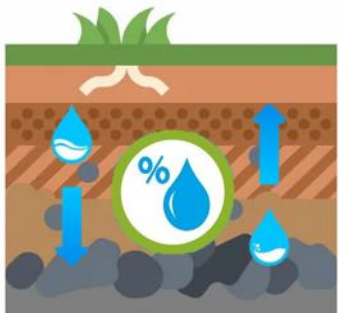
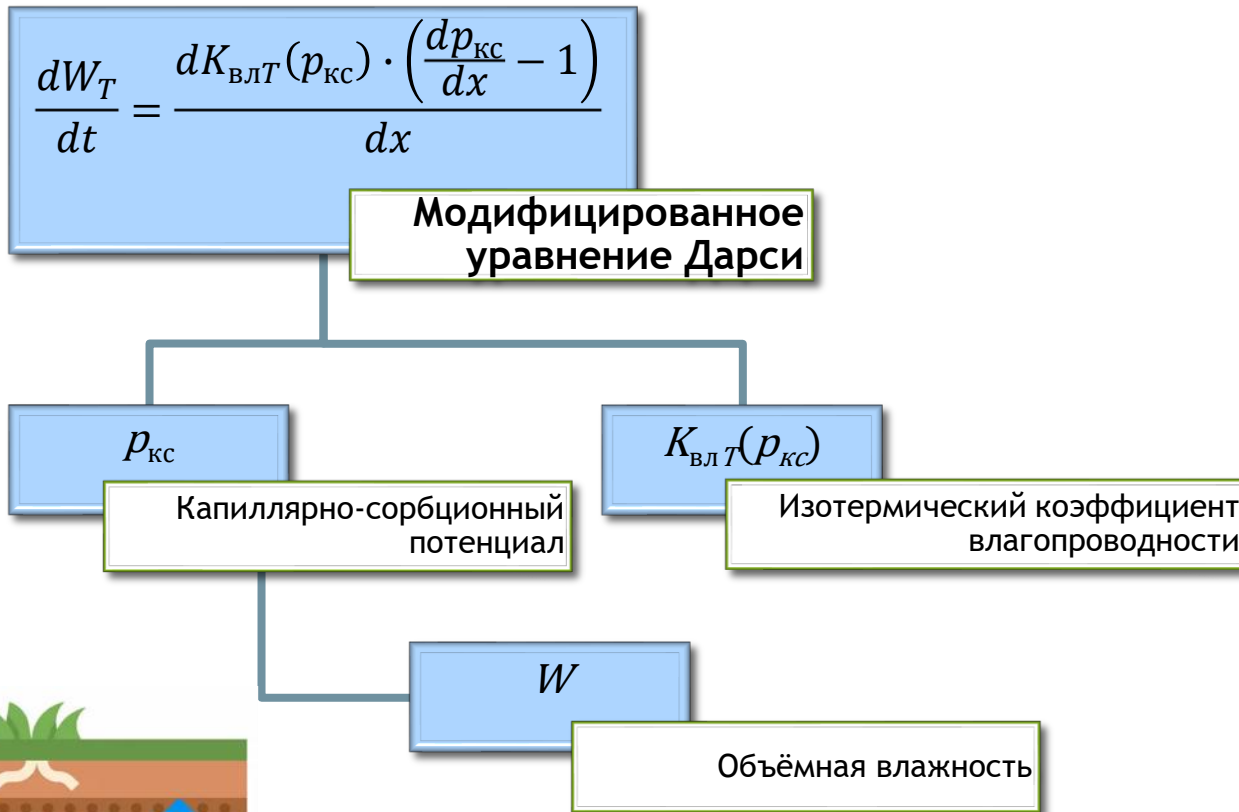
Учет метеоданных

Расчет эвапотранспирации

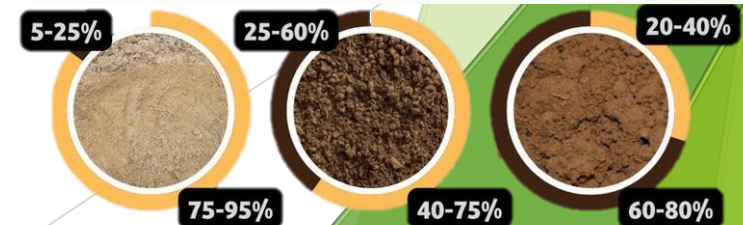
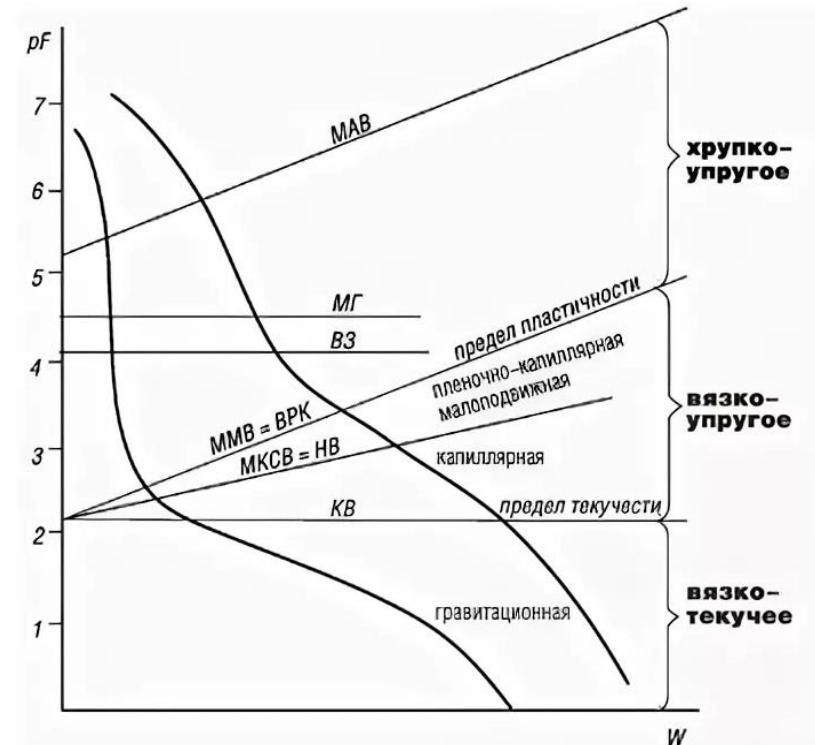
Сравнение и оценка выходных данных

Теоретическая база

Модифицированное уравнение Дарси позволяет решать задачи вертикального перемещения влаги между верхними слоями почвенного профиля.



Зависимость $p_{\text{КС}}$ также называют основной гидрофизической характеристикой (ОГХ). Специфична для каждого почвенного образца.



Теоретическая база

$$ET_0 = 0,408 \cdot \Delta(R_n - G) + \frac{\gamma \cdot (900 \cdot T + 273) \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)}$$

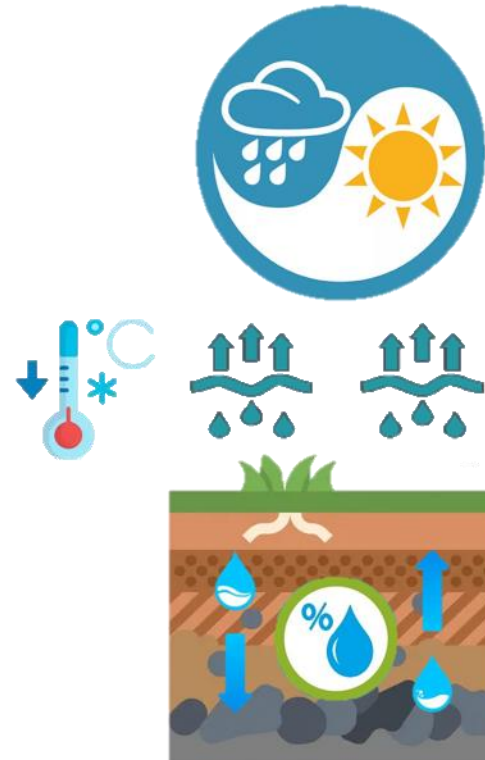
Уравнение Пенмана-Монтейта

- ET_0 — эталонная эвапотранспирация (мм/день);
- Δ — уклон кривой давления насыщенного пара (кПа/°C);
- R_n — чистое излучение (МДж/кв.метр в день);
- G — почвенная теплота (МДж/кв.метр в день);
- T — температура воздуха на высоте 2 м (°C);
- e_s — давление насыщенного пара (кПа);
- e_a — текущее давление пара (кПа);
- u_2 — скорость ветра (м/с);
- γ — психрометрическая постоянная (кПа/°C).

Эвапотранспирация — это процесс возвращения влаги в атмосферу в виде водяного пара за счёт испарения воды с поверхности почвы и растительности, а также через транспирацию, то есть испарение воды растениями.

На величину испарения с почвы влияют климатические и метеорологические параметры.

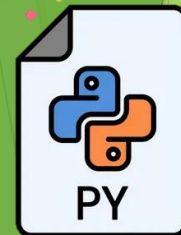
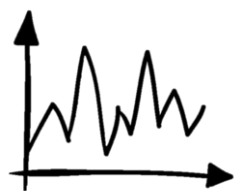
Однако если интервал между дождями или орошением становится большим, содержание воды в верхнем слое почвы падает, и ограниченный доступ воды играет определяющую роль.



Методология



Итерационная модель расчета



Результаты

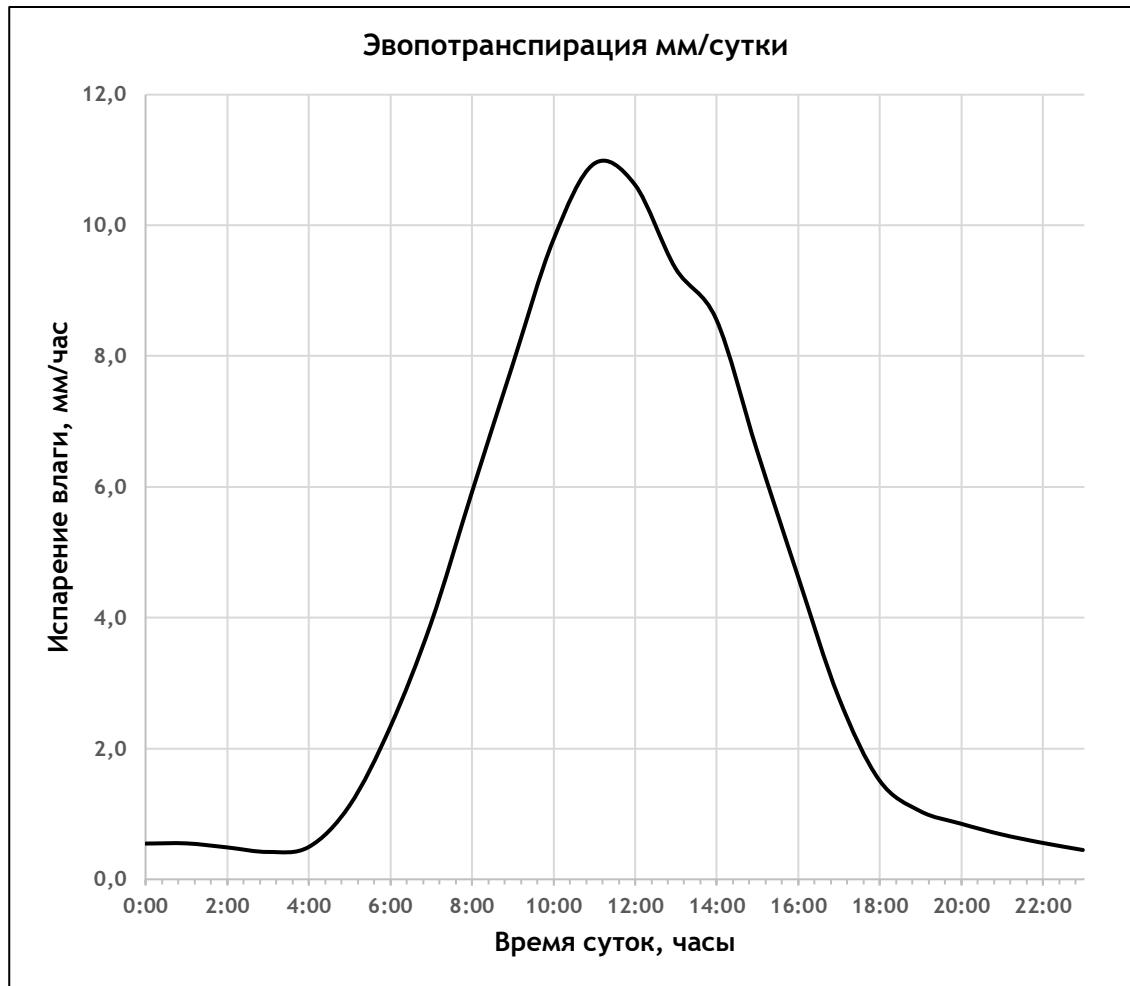


Рис. 1. График суточного изменения эвапотранспирации, интерполяция кубический сплайн.

Данные получены из Всемирного центра радиационных данных ВМО (ГГО им. Воейкова). Для моделирования системы использовались статистические почасовые данные по Подмосковию за июнь 2024 года.

Используется алгоритм сглаживания данных об испарениях с часового на 10-минутный интервал времени с помощью кубической интерполяции (сплайн 3-го порядка).

Целевые точки интерполяции создаются с шагом 10 минут (1/6 часа), формируется массив из 144 точек за сутки (24 часа × 6 точек в час).

Ранее использованная синусоидальная модель переоценивает испарение в ~ 1,5 – 2,5 раза, что объясняется равномерным распределением испарительной энергии в течение суток без учета реального суточного хода метеопараметров.

Результаты

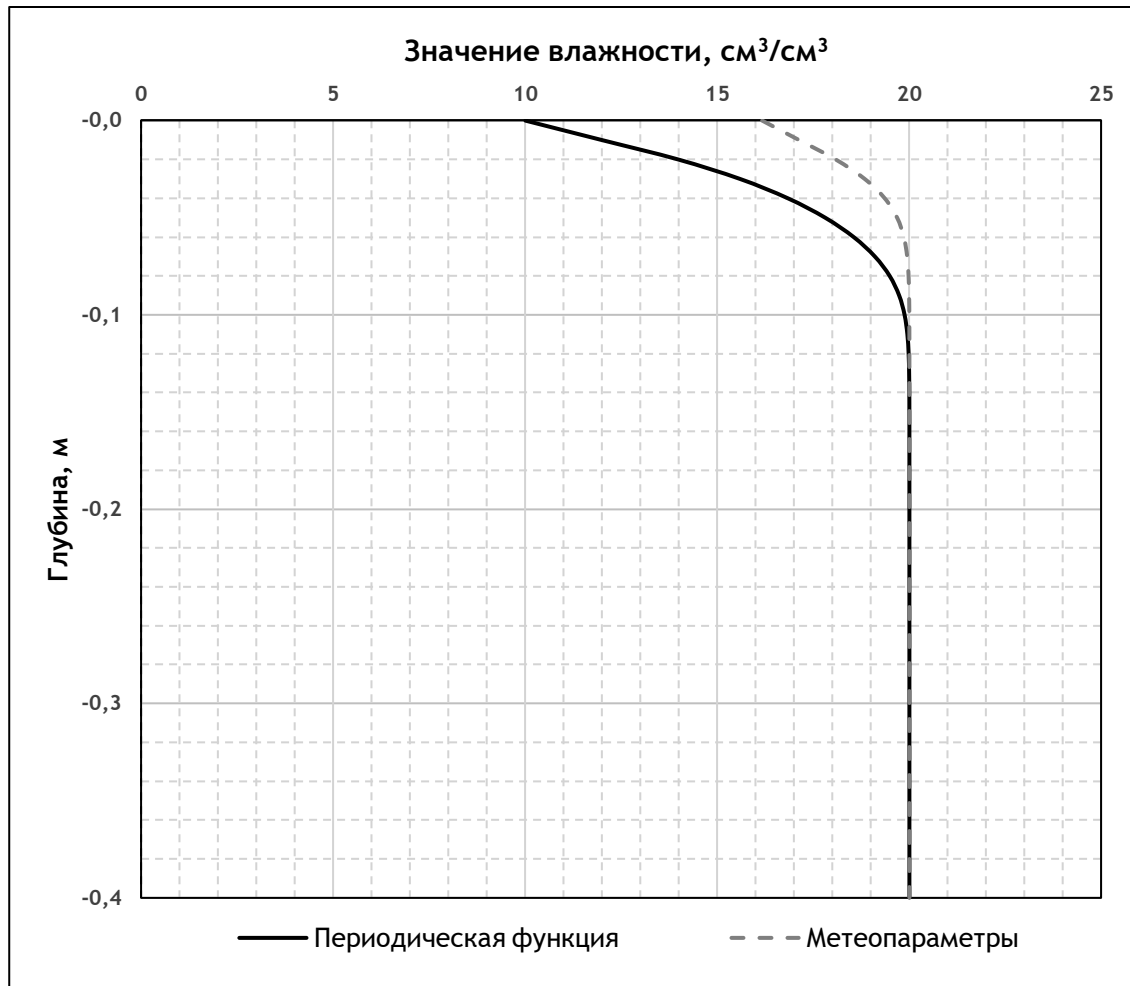


Рис. 2. Профиль объемной влажности спустя 1 сутки после начала процесса испарения

Для численного решения уравнения влагопереноса была разработана явная конечно-разностная схема. Почвенный столб дискретизирован по глубине с шагом 1 см, что позволяет детально описать формирование профиля влажности. Для обеспечения устойчивости решения использован малый шаг по времени. Начальная влажность 20% по всему профилю.

Обнаружено существенное расхождение между моделями в краткосрочной перспективе: после первых суток верхний слой почвы (0-1 см) в модели с реальными данными высох до 16%, тогда как в модели с синусоидальным испарением - до 10%.

Результаты

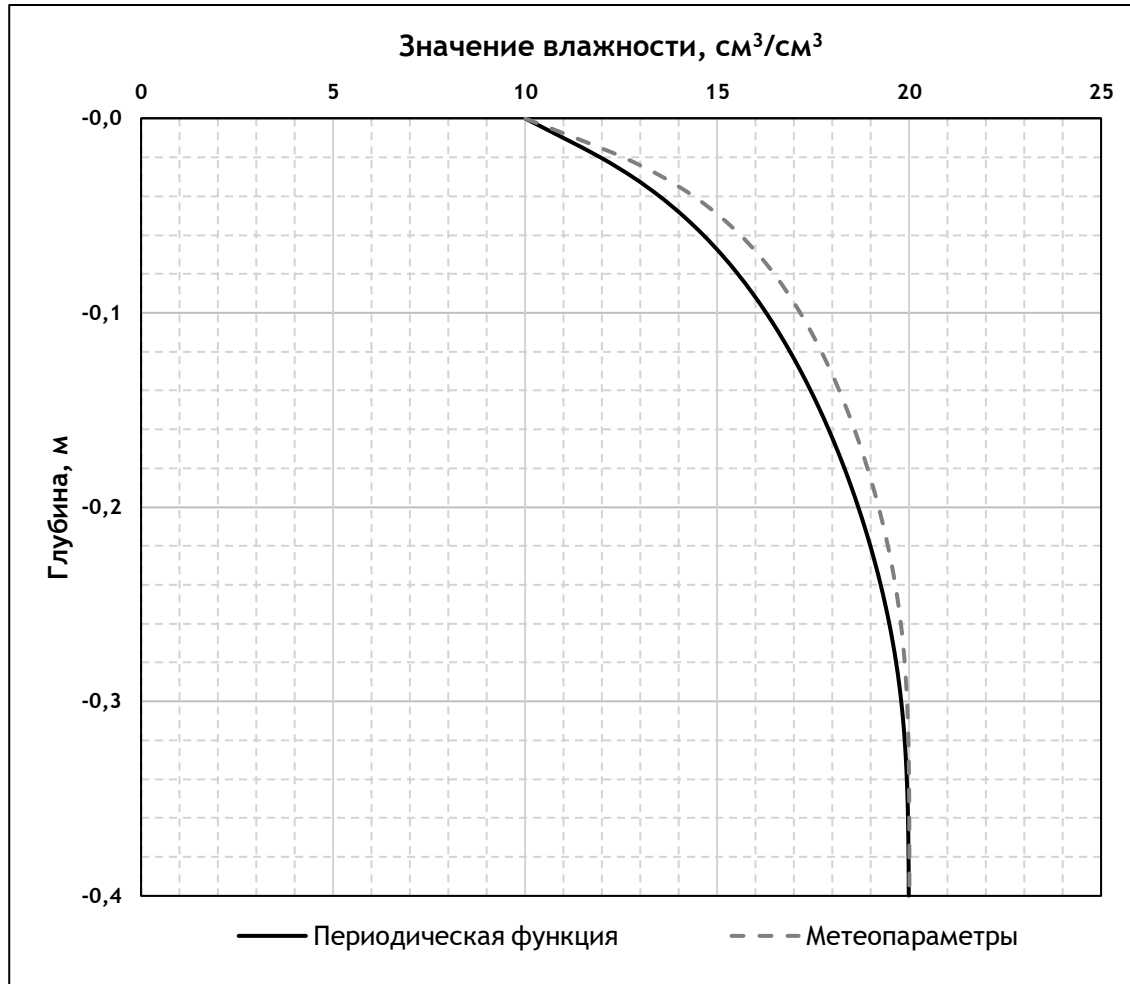


Рис. 3. Профиль объемной влажности спустя 5 суток после начала процесса испарения

Профили влажности сходятся из-за использования повторяющегося суточного цикла метеоданных и схожей интегральной величины испарения.

Для примера в модели используется параметры характерные для суглинистой почвы средней плотности. Профиль строился в толще почвы до 0,4 м глубины. Данный объем взят исходя из того что наиболее заметное влияние на антенны КВ диапазона оказывает скин-слой, толщина которого сопоставима с исследуемым слоем почвы.

Выводы



Построена реалистичная модель процесса влагопереноса в почвенной структуре



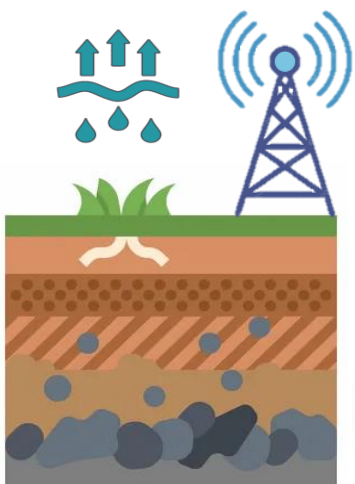
Существенное расхождение в результатах двух моделей



Режим атмосферного доминирования

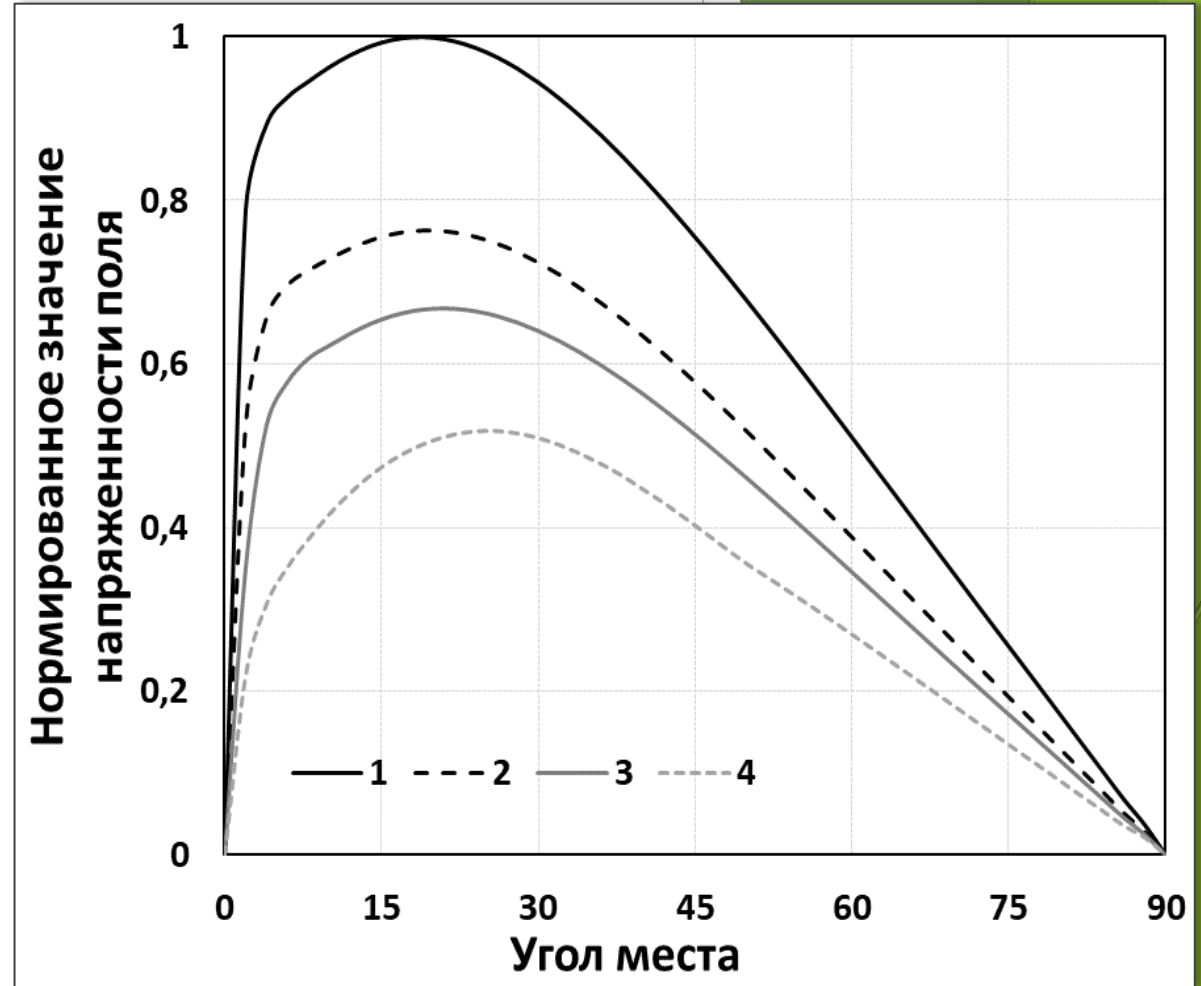
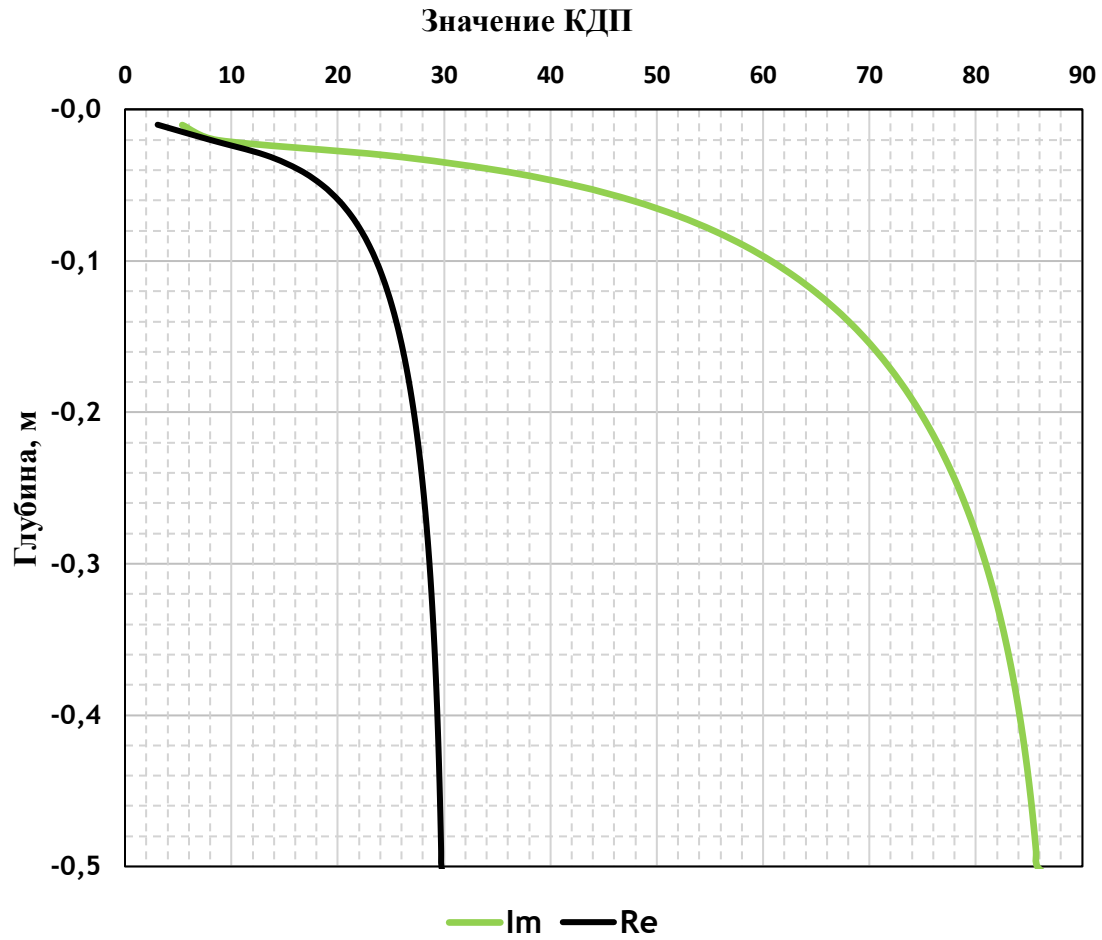


Режим почвенного доминирования



Обсуждения

Что можно сделать с полученными данными?



Заключение



Модель позволяет устанавливать прямую корректную связь между погодными условиями, влажностью почвы и результирующими параметрами антенны (диаграммой направленности, коэффициентом усиления). Это повысит надежность и эффективность проектируемых радиосистем.

Разработанная модель является ядром для будущего специализированного программного обеспечения, которое сможет автоматически связывать метеопараметры с радиотехническими характеристиками наземных антенн.

Работа выполнена по государственному заданию Омского научного центра СО РАН (номер госрегистрации проекта 125013101211-4).

Спасибо за внимание!

Немчанов Кирилл Валентинович

- ИРФЭ ОНЦ СО РАН, Омск
- <http://www.oscsbras.ru/irfe/>
- nemchanov141@mail.ru