

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЧ-РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ДИСТАНЦИОННЫХ
ИЗМЕРЕНИЙ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

Р.А.ПОЛУЭКТОВ¹, Б.М.АЗИЗОВ², Ф.А.МИРЗОЕВ²

*Агрофизический научно-исследовательский институт¹
195 220, г.Санкт-Петербург, Гражданский пр.14
АМАКА Институт Экологии²
AZ 1106, г.Баку, пр.Азадлыг 159*

Работа посвящена теме по использованию СВЧ – радиометрических дистанционных измерений влажности при решении задачи прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур. В работе отражены вопросы определения запасов продуктивной влаги в зондируемом слое, прогнозирование урожайности с использованием данных СВЧ – влагометрии. Для выполнения этих целей показаны необходимые требования и основные особенности схематического прогноза.

При решении задачи прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур одним из главных параметров, отражающих условия влагообеспеченности, является влажность почвы. Однако, традиционные наземные методы измерения влажности почвы не в состоянии обеспечить модели адекватной информации вследствие большой трудоемкости таких методов. Они дают возможность получать оценки влажности лишь в отдельных точках и не позволяют с достаточной степенью точности учесть пространственную изменчивость этого параметра. Особенно остро такая проблема встает при прогнозе урожайности на больших площадях. Поэтому перспективным средством с точки зрения решения задачи прогнозирования является использование аппаратуры для дистанционного определения влажности почв, позволяющее проводить оперативные измерения влажности на больших площадях.

Принципиальная возможность получения оперативно площадных оценок влажности почвы обеспечивается применением СВЧ-РМ–влагомера, установленного на самолете. Однако, использование данных СВЧ-влагометрии для прогноза урожайности сельскохозяйственных культур, в частности зерновых, требует решения следующих задач:

1. Пересчет измеряемой СВЧ-влагомером объемной концентрации свободной влаги в почве (г/см^3) в традиционно используемое значение запасов продуктивной влаги (в мм осажденной влаги) при прогнозе зондируемого слоя почвы.
2. Определение запаса продуктивной влаги в метровом слое почвы, в котором сосредоточена основная масса корневой системы зерновых культур.
3. Разработка схемы и методика прогноза урожайности для рассматриваемой территориальной единицы на базе получаемых площадных оценок влагозапасов почвы.

Данная работа является результатом совместных исследований со специалистами института Агрофизики Академии сельскохозяйственных наук Российской Федерации. В измерении использованы приборы разработанные в АНАКА: радиометры (РМ-4, с центральной частотой радиометра $\lambda=21,00\text{см}$, чувствительностью приемника $0,9^0\text{ К}$; РМ-5 с центральной частотой радиометра $\lambda=6,0\text{см}$, чувствительностью приемника $2,0^0\text{ К}$ и разрешающей способностью прибора 200-2000м). Трехканальный СВЧ – радиометрический влагомер разработан в институте Радиоэлектроники АН России. Центральные частоты

радиометра соответствуют длинам волн $\lambda=2,25\text{см}$, $18,00\text{см}$, 30см . Разрешающая способность СВЧ – влагомера равна 5 - 10 км. Диапазон влажности, измеряемый СВЧ-PM-влагомером, 5÷40% весовой влажности. Абсолютная погрешность определения влажности поверхностного слоя не превышает 2% весовой влажности. Абсолютная погрешность определения влагозапасов не превышает 20мм осажденной воды.

Измерения с помощью СВЧ–влагомера позволяют определить значение объемной концентрации свободной влаги в почве ρ (вг/см^3) в излучающем слое почвы.

Считая, что измеренная величина ρ характеризует среднее значение влажности в зондирующем слое почвы, запас влаги в этом слое $W(\text{мм})$ можно определить как:

$$W_{\text{общ}} = \rho \cdot h \cdot 10 ,$$

где h – толщина излучающего слоя (в см), которую можно найти для различных длин волн по графику

В формировании урожайности сельскохозяйственных культур участвует только продуктивная часть общих влагозапасов почвы. Поскольку СВЧ–PM–влагомер измеряет всю свободную влагу в зондируемом слое почвы, то запасы продуктивной влаги в этом слое рассчитываются по известной формуле:

$$W_h = W_{\text{общ}} - Q_h ,$$

где Q_h - влажность устойчивого завядания, рассматриваемого слоя (мм).

Значение Q_h для различных почв можно определить по данным справочников по агрогидрологическим свойствам почв рассматриваемого региона.

В задачах прогнозирования урожайности зерновых культур, в частности озимой пшеницы, обычно используются значения запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы, так как именно этом слое сосредоточена большая часть корней, которая в основном обеспечивает растения доступной влагой. Задача пересчета влагозапасов в метровом слое почвы по известному значению их в некотором слое, связанном с радиоизлучением, рассматривалась [1-7]. Запасы продуктивной влаги в метровом слое W_{100} можно определить так

$$W_{100} = W_h + \int_0^{100} [w(z) - q(z)] D(z) dz ,$$

где W_h - значение влагозапасов в излучающем слое, W , q влажность почвы и коэффициент завядания (в% от объемного веса почвы), Z – глубина слоя.

Данные, полученные на основе измерений с помощью СВЧ–влагомера и последующего пересчета по запасам продуктивной влаги в почве, могут быть использованы при прогнозе урожайности сельскохозяйственных культур на больших площадях.

Методика использования таких данных должна вписываться в общую схему прогнозирования урожайности зерновых культур в системе «АНУС – агроресурсы» (8).

Основные особенности схемы прогноза следующие:

1. Основной территориальной единицей при прогнозе является зона (область, край), минимальной – район.
2. Внутри зоны (областей, краев) на основе проведения районирования выделяются природно-сельскохозяйственные округа, где почвенно-климатические условия можно считать достаточно однородными.
3. Для учета вариаций агроклиматических условий (типов почв, условий влагообеспеченности) внутри округов выделяются подокруга.

4. На территории подокругов выбираются тестовые районы (ТР) и базовые хозяйства (БХ) тестового района, по которым осуществляется сбор необходимой для прогноза информации.
5. Прогноз опирается на расчет реально выращенного, биологического урожая.
6. Прогноз урожайности осуществляется на основе агрометоданнах, в том числе данных по влажности почвы, о состоянии посевов, а также информации, включающей значения фотометрических параметров и площадные характеристики состояния, такие как изреженность, полегание и т.д.

Измерения влажности СВЧ-влажномером и определение запасов продуктивной влаги в почве осуществляются для территории районов с обязательным обследованием тестовых районов.

Запасы продуктивной влаги в почве W могут быть определены по данным СВЧ влагометрии. Выделив составляющую, связанную с почвенной влагой, прогностические зависимости для элементов урожайности в фазу развития, имеющую номер m , можно представить в общем виде

$$F_i^{(m)} = \varphi_i(m)(P_i^{(m)}) f_i^{(m)}(W),$$

где $\overline{P}_i^{(m)}$ -вектор параметров, определяющих значения элементов F_i , за исключением влажности почвы, для m -ой фазы развития; $\varphi_i^{(m)}$ -функция, отражающая влияние на значение элемента F_i всего комплекса факторов кроме влажности почвы, $f_i^{(m)}$ – функция, характеризующая влияние на данный элемент влажности почвы в эту фазу. Конкретный вид функции φ_i , f_i и вектора P_i зависят от фазы развития растений.

Поскольку информация, необходимая для прогноза, собирается в полном объеме лишь по тестовым единицам, расчет урожайности для других районов, входящих в тот же подокруг, производится на основе вычисленной урожайности для тестового района с использованием данных по влажности почвы в этих районах, измеренных с помощью СВЧ-влажномера.

Урожайность культуры в подокруге определяется как средневзвешенное урожайностей всех районов подокруга с учетом доли фактических площадей под данной культурой в районе. Аналогично рассчитывается урожайность природно-сельскохозяйственных округов, затем в зоне (области, крае) в целом.

Измерения площадных характеристик влажности почвы позволяют уточнять прогноз урожайности с/х культур с учетом пространственной изменчивости условий влагообеспеченности.

Для использования в целях прогнозирования урожайности с/х культур измерения влажности должны проводиться с учетом следующих требований:

- погрешность измерений должна быть не ниже, чем погрешность наиболее распространенного наземного термостатновесового метода;
- выбор маршрута полета самолетов, оснащенных аппаратурой, должен осуществляться так, чтобы обследуемые площади были достаточно репрезентативны для данного района по типу почв и их разновидностям;
- измерения влажности и определение площадных характеристик должны проводиться с учетом размещения сельскохозяйственных культур, для каждый из рассматриваемых культур отдельно.
- целесообразно, чтобы выбор маршрута был согласован с маршрутами наземных обследований, включающих измерения влажности почв для периодической корректировки данных;

- поскольку на точность измерения СВЧ–влажномером существенно влияет наличие растительного покрова и его биомасса, необходимо проведение дополнительных исследований с целью построения градуировочных кривых, учитывающих изменение биомассы! Целесообразно также проводить измерения влажности одновременно с дистанционным измерением биомассы.

1. К.Я.Кондратьев, П.П.Федченко, и др., *Биосферы: методы и результаты дистанционного зондирования*. М. Наука, (1990) 224 с
2. Г.И. Хлопов, *Вести МГУ, Серия-физика-астрономия*, **35** № 4 (1994) 86.
3. New views of the Earth scientific, Achievements of ERS -1. European Space Agency Publ, (1995) 162.
4. К.Я.Кондратьев, В.В Меленьтьев и др., *Исследование земли из космоса*, №3 (1995) 14.
5. Б.М. Азизов, *Доклад НАН Азербайджана*, № 1-3 (2001) 59.
6. Л.Б. Неронский, *Вопросы радиоэлектроники*, № 5 (1991) 6.
7. Провести научные исследования и разработать комплекс математических моделей оценки урожайности сельскохозяйственных культур по данным дистанционного зондирования. Н-т., отчет. М. ВНИЦ «АИУС – агроресурсы», (1984).

**KƏND TƏSƏRRÜFATI BİTKİLƏRİNİN MƏHSULDARLIĞINI PROQNOZLAŞDIRMAQ
MƏQSƏDİ İLƏ TORPAĞIN RÜTUBƏTİNİN İFRAT YÜKSƏK TEZLİKLİ (IUT) -
RADIOMETRİK DİSTANSİON ÖLÇMƏLƏRİNDƏN İSTİFADƏ EDİLMƏSİ**

R.A.POLUEKTOV, B.M.ƏZİZOV, F.Ə.MİRZƏYEV

Bu iş kənd təsərrüfatı bitkilərinin məhsuldarlığının proqnozlaşdırmaq məqsədilə torpağın rütubətinin İfrat – Yüəkək – Tezlikli (IUT) - radiometrik distansion ölçmələrdən istifadə edilməsinə həsr edilmişdir. Bu işdə IUT-rütubətölçənin verilənlərindən istifadə etməklə məhsuldarlığı proqnozlaşdırmaq, tədqiq olunan təbəqədə qida nəmliyinin ehtiyatının təyini öz əksini tapmışdır. Bu məqsədlə zəruri tələblər və əsas sxematik xüsusiyyətlər göstərilmişdir.

**USE OF THE SHF-RADIOMETRIC REMOTE MEASUREMENTS OF HUMIDITY OF SOILS
FOR FORECASTING CROP CAPACITY OF AGRICULTURAL CULTURES**

R.A.POLUEKTOV, B.M.AZIZOV, F.A. MIRZOYEV

This article describes use of the shf-radiometric remote measurements of humidity of soils for forecasting crop capacity of agricultural cultures. Definition of the stocks moisture, prognosis about crop capacity have been reflected in this article. Demands and basic peculiarities of the schematic prognoses necessary for execution of these purposes were showed.

Редактор: Э.Гусейнов