

THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
THE ALL-RUSSIAN RESEARCH INSTITUTE FOR SCIENTIFIC AND TECHNICAL
INFORMATION
(VINITI)

PROBLEMS OF ENVIRONMENT AND NATURAL RESOURCES

Review information

№ 12

Founded in 1972

Moscow 2017

A Monthly Journal

CHIEF EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief

Arskij Yu. M., Academician of the Russian Academy of Sciences

Editorial Board Members:

Borisenko I. N., Kartseva E. V., Koroleva L. M., Kravtsov V. F.,

Ostasova G. Y., Potarov I. I., Schetina I. A., Yudin A. G.

Editorial office: 125190, Russia, Moscow, Usiyevich st., 20
The All-Russian Research Institute for Scientific and Technical Information
Department of Scientific Information on Global Problems
Telephone: 499-152-55-00
ipotarov37@mail.ru

© VINITI, 2017

УДК 502/504:001.8

ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

**МИКРОВОЛНОВАЯ РАДИОМЕТРИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОКРОВОВ
В КОНТЕКСТЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ**

Д-р физ-мат наук, проф. В.Ф. Крапивин,

kravtsov_36@mail.ru

(Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва)

**MICROWAVE RADIOMETRY OF THE VEGETATION COVERS
IN THE CONTEXT OF GLOBAL CHANGE RESEARCH**

В.Ф. Крапивин

Фед 3-5 17 2017. 4/1

3-90

57
53

Микроволновый мониторинг, радиометрия, растительный покров, глобальные изменения.

Microwave monitoring, radiometry, vegetation cover, global changes.

Обсуждены вопросы и проблемы использования данных дистанционного радиометрического мониторинга окружающей среды при решении задач оценки причин глобальных изменений климата. Отмечена важность создания таких информационных технологий, которые бы обеспечивали бы оптимизацию режимов мониторинга и высокий уровень достоверности получаемой и прогнозируемой информации. В качестве такой технологии предлагается технология синтеза геоэкологических информационно-моделирующих систем (ГИМС-технология). Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (Грант РФФИ №16-01-00213-а).

The questions and problems are discussed concerning the environmental remote sensing data use for the solution of tasks to evaluate the causes of global changes. An importance of the synthesis of such information technologies that could provide the optimization of monitoring regimes and high level of reliability for delivered and forecasted information is marked. As an example of such technology, the geoeological information-modeling system is represented. (GIMS-technology).

Введение

Систематическое обеспечение систем дистанционного зондирования земных покровов и станций радиосвязи данными о характере экранирующего эффекта растительного покрова в фиксированный момент времени и в конкретной географической точке наряду с экспериментальными исследованиями требует развития технологии, которая позволила бы по фрагментарной в пространстве и эпизодической во времени информации восстанавливать полную пространственную и динамическую зависимость этого эффекта от параметров окружающей среды. Создание такой технологии возможно за счет синтеза методов и алгоритмов, раз-

вываемых в экиноформатике [4,9,32]. Наиболее эффективными при решении подобных задач реконструкции пространственно-временных распределений параметров природно-техногенных систем оказались ГИМС-технология [29] и эволюционное моделирование [38]. Уже развитые в них методики и алгоритмы позволяют решать многие из указанных задач с высокой эффективностью, используя адаптивный характер ГИМС-технологии и эволюционного моделирования [1,2,6,37].

ГИМС является информативной системой экспертного уровня, обеспечивающей сбор, анализ и интерпретацию данных о различных объектах, явлениях и процессах в окружающей среде, как ограниченной территории, так и в глобальных масштабах. Источниками данных для системы служат наземные стационарные и подвижные средства наблюдений за окружающей средой, а также спутниковая информация. Поступающие в систему данные анализируются в соответствии с критериями оценки их достоверности и представляются. Пользователь информируется об этих оценках и может получить от системы рекомендации относительно процедуры управления системами наблюдения [10,28,31].

ГИМС обеспечивает оперативный комплексный синтез обновляемой базы данных о физических, химических, биологических, демографических и социально-экономических процессах на контролируемой территории и на ее основе осуществляет сервисное обслуживание через пользовательский интерфейс, обеспечивая решение следующего спектра задач:

1. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха с выделением опасных зон и прогнозом их динамики на данной территории [17].
 2. Оценка общей эпидемиологической обстановки, выявление и предупреждение о возможных негативных трендах [19].
 3. Расчет зависимости между экологическими и социально - экономическими процессами на контролируемой территории с учетом ее взаимодействия с другими территориями [13].
 4. Контроль за качеством водных ресурсов региона и информационное обеспечение о пространственном распределении потоков сточных вод с идентификацией их источников [16].
 5. Слежение в режиме реального времени за уровнем воды в речных системах и прогнозирование катастрофических изменений в водном балансе региона [11].
 6. Типизация почвенно-растительных покровов и антропогенных ландшафтов с определением их роли в формировании пространственной структуры окружающей среды на территории региона [4].
 7. Прогнозирование последствий для окружающей среды контролируемой территории реализации антропогенного проекта или изменений окружающей среды за ее пределами, в том числе при изменении климатических параметров [5].
 8. Оценка динамических индикаторов биологической сложности региональной системы «Природа - Общество» как функций взаимодействия физических, химических, биологических и социальных процессов и факторов [8].
 9. Пространственно-временная реконструкция образа исследуемого объекта окружающей среды за счет применения алгоритмов интерполяции данных между измерениями, прогноз его динамики и вероятностная оценка прогноза [12].
- ГИМС создается по формуле «ГИС+Модель» на основе имеющейся информации о параметрах, процессах и элементах окружающей среды региона. В режиме эксплуатации происходит непрерывное обучение системы за счет критерияльных оценок ее эффективности осуществляя свои функции. ГИМС оснащается типо-

выми моделями функционирования подсистем окружающей среды, такими как модели биогеохимических циклов углерода, азота, фосфора, тяжелых металлов, углеводородов нефти и других веществ, модели динамики почвенно-растительных формаций с детализацией типов почв и растительности.

Ориентация ГИМС-технологии на решение задачи оценки пространственно-временного распределения характеристик экранирующего влияния растительности в задачах микроволновой радиометрии потребует расширения базы знаний и базы данных ГИМС за счет сведений о значениях этих характеристик для различных типов растительности в различных фазах ее состояния.

Как следует из сказанного, адаптивно – эволюционная технология (АЭТ) позволяет подойти к решению задачи с новой позиции, состоящей в следующем. Экспериментально изучаются зависимости параметров экранирующего влияния растительности и строятся фрагменты баз знаний и данных оцениваемой системы. АЭТ используется как метод интерполяции между этими фрагментами по информации о состоянии растительного покрова в данной географической точке или по трассе распространения электромагнитной волны. При этом оценка состояния растительности может выполняться с использованием соответствующих функций ГИМС на основе спутниковой или другой информации.

На следующем этапе работы по данному направлению, учитывая уже накопленный опыт и результаты аналитических исследований других авторов, необходимо решить следующие задачи:

- ◆ разработка принципиальной схемы АЭТ;
- ◆ описание базовых блоков АЭТ;
- ◆ формулировка требований к информационному интерфейсу АЭТ;
- ◆ разработка модели динамики растительного покрова;
- ◆ формирование ограничений на объем входной информации и выбор критерия достоверности этой информации;

Проблемы глобального климата и круговорота углерода.

В течение последних десятилетий глобальный круговорот углерода интенсивно изучался многочисленными исследователями, которые связывают будущее изменение климата с увеличением концентрации углекислого газа (CO_2) и других парниковых газов в атмосфере [25-27]. Действительно, в 2001 г. Межправительственное соглашение по климату (IPCC, 2001a) заключило, что наиболее вероятное потепление в первой половине 20-го столетия было связано с деятельностью человека, а именно с возрастанием концентрации парниковых газов в атмосфере. Также было высказано предупреждение о том, что такие изменения продолжатся в последующие столетия. Наиболее главным среди всех парниковых газов безусловно является CO_2 , атмосферная концентрация которого драматически нарастает по причине вмешательства человека в глобальный круговорот углерода. Данные третьего доклада IPCC (IPCC, 2001b) позволяют рассмотреть динамику глобального круговорота углерода и изменения климата в последнем столетии [26]:

- Концентрация углекислого газа в атмосфере, составлявшая в доиндустриальную эпоху $280 \pm 10 \text{ мкг л}^{-1}$ на протяжении нескольких тысяч лет, за прошедшее столетие непрерывно возрастала и к 2017 г. достигла $409,65 \text{ мкг л}^{-1}$.
- Главной причиной роста концентрации CO_2 является сжигание ископаемых топлив. Связанные с этим (а также, в небольшой степени, - с функционированием цементной промышленности) глобальные выбросы CO_2 в атмосферу в период

ними процессы обезлесивания, замены лесов и их насеждения следует изучать в деталях.

На площади, покрытой лесом, объем резервуара CO_2 , поглощаемого из атмосферы, является функцией плотности полога леса и в данный период времени изменение этого объема определяется уровнем и характером динамических процессов перехода одних типов лесов в другие. Причины этого перехода могут быть природными, антропогенными или смешанными. Биологология пытается создавать универсальную теорию таких переходов, но пока эта наука находится на уровне качественного и количественного описания наблюдаемых переходов.

ГИМС предлагает 30 моделей SPF [32]. Список типов SPF дан в работах [9,29], которые были адаптированы к пространственному разрешению $4^{\circ} \times 5^{\circ}$ согласно классификации Вазилевич и Родина [3]. Биомасса Q_i i -го типа растительности в момент времени t может быть параметризована следующим уравнением:

$$\partial Q_i / \partial t = R_i - M_i - E_i \quad (10)$$

где R_i - продукция растений i -го типа, M_i и E_i - потери биомассы за счет отмирания и дыхания соответственно.

Функция $M_i(\varphi, \lambda, t)$ отражает ряд природных M_N и антропогенных M_A процессов, приводящих к потерям биомассы ($M_i = M_N + M_A$):

$$M_i(\varphi, \lambda, t) = \mu_i(t) Q_i(\varphi, \lambda, t) \quad (11)$$

где φ и λ - широта и долготы соответственно.

Поток E_i рассчитывается с помощью формулы (Sellens et al., 1996a):

$$E_i(\varphi, \psi, t) = \frac{\rho c_p [e^*(T_c) - e_a]}{\gamma_p (T_c + T_h)} \quad (12)$$

где $e^*(T_c)$ - насыщенные водяного пара внутри полога (в единицах Па), e_a - давление пара в воздушном пространстве полога (Па), T_c - сопротивление полога (cm^{-1}), T_h - сопротивление внешнего слоя листьев полога (cm^{-1}), ρ - плотность воздуха ($kg \cdot m^{-3}$), c_p - характеристика теплога воздуха ($Дж \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$) и γ_p - психометрическая константа (Па $\cdot K^{-1}$).

Реальная продуктивность растения аппроксимируется уравнением:

$$R_i = \delta_c^i \left(1 + \alpha_T^i \cdot \Delta T / 100 \right) \exp(-\beta_i / Q_i) \min \{ \delta_e^i, \delta_Z^i, \delta_W^i, \delta_V^i \} \quad (13)$$

где α_T^i и β_i - индексы зависимости продуктивности от изменения температуры и биомассы соответственно, δ_c^i - показатель лимитирования продуктивности фактом c ; e = облучение, Z = влажность почвы, W = запас биогенных солей в почве и c = концентрация CO_2 в атмосфере. Функция δ_c^i реально используемые рассчитываются на основе имеющихся априморных данных. Таким

образом, роль, которую играет атмосферная концентрация CO_2 (C_A) в фотосинтезе описывается соотношением $\delta_c^i = b_i C_A / (C_A + C_{0.5}^i)$, где $C_{0.5}^i$ - концентрация CO_2 , при которой $\delta_c^i = b_i / 2$. Воздействие солнечной радиации $e(\varphi, \lambda, t)$ на фотосинтез параметризуется соотношением $\delta_e^i = \delta_i^* \exp(1 - \delta_i^*)$, где $\delta_i^* = e / e_i^*$ и e_i^* - оптимальная освещенность для i -го типа растений. Более детальное описание биофотосинтетических процессов дано в работах [3,25].

Заключение

Основанный на ГИМС подход был использован для восстановления ослабленных микроволновых волн растительностью различных типов на основе фрагментарных измерений [7,25]. Следуя классификации растительных покровов и принимая во внимание их количественные характеристики для лесных экосистем были рассчитаны и табулированы показатели ослабления. Полученные оценки имеют дисперсию около 5,5%. Определенно этот пример показал, что имеется возможность оперативного расчета ослабления электромагнитных волн растительностью. Более детальные расчеты с учетом рассматривания различных микроволновых областей и при рассмотрении N и V поляризации могут быть полезны для многих потенциальных приложений.

Как было показано многими авторами, существуют сбалансированные критерии отбора информации в рамках иерархии задач, возникающих при изучении биосферы. Они включают координацию измерений, выбор глубины дискретизации растительных покровов, степень детализации биомов и т.д. На эмпирическом уровне эти критерии позволяют выбирать информационную ступеньку георадиационного мониторинга с иерархией моделей различных уровней.

Становится ясно, что основанный на ГИМС подход открывает новые перспективы в рамках микроволнового дистанционного мониторинга растительности, давая возможность комбинировать теоретические и эмпирические исследования роли растительности в изменении микроволнового излучения земной поверхности. Для достижения практических результатов необходимо расширять наполнение ГИМС новыми моделями. В результате ГИМС позволит определять энергетический баланс биосферы, который непосредственно зависит от состояния растительного покрова, а особенно от лесов. Поэтому ближайшие задачи, стоящие перед авторами данного исследования, заключаются в формулировании и решении следующих задач:

- Развитие моделей для описания динамики почвенно-растительных формаций;
- Анализ возможностей различных мониторинговых систем с учетом их эффективности при оценке параметров растительности;
- Теоретическое и экспериментальное изучение микроволнового излучения и его распространения в системе атмосфера-растительность-почва;
- Синтез базы данных ГИМС, включая теоретические и экспериментальные оценки коэффициентов моделей, радиометрических характеристик растительности и пространственного распределения биомов.