

22-80

Моро А.А., Я.А., Я.А., Я.А., Я.А., Я.А.

ОСЛАБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ЛЕСНЫМ ПОКРОВОМ

(КОЗОВ)

БП
2

Д.ф.-м.н., проф. В.Ф. Крашвин¹, д.ф.-м.н. А.А. Чухланцев¹,
 к.т.н. И.И. Потапов², к.ф.-м.н. В.Ю. Солдагов²
¹ Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва
² Всероссийский институт научной и технической информации РАН, Москва
 (potapov37@mail.ru)

AN ATTENUATION OF ELECTROMAGNETIC WAVES IN THE FOREST COVER (REVIEW)

V.F. Kravtchik, I.I. Potapov, V.Yu. Soldatov, A.A. Chukhlan'tsev

Рис.
 Рез. англ.

Электромагнитное излучение, лесная экосистема, ослабление, парниковый эффект, углекислый газ, лесной пожар, влажность почвы.

Electromagnetic radiation, forest ecosystem, attenuation, greenhouse effect, carbon dioxide, forest fire, soil moisture.

Представлен общий подход к описанию распространения электромагнитных волн через растительные покровы. Обсуждены характеристики ослабления электромагнитных волн лесным покровом. Рассмотрена роль ГИМС-технологии в микроволновом мониторинге растительности. Представлены спектральные измерения ослабления радиоволн кронками деревьев. Описаны полуэмпирические модели ослабления электромагнитных волн и дано их сравнение. Охарактеризованы обменные процессы в лесных экосистемах в связи с их ролью в регулировании парникового эффекта.

General approach to the description of propagation of electromagnetic waves across the vegetation covers is represented. Attenuation characteristics of electromagnetic waves in the forest cover are discussed. It is considered the GIMS-technology role in the microwave monitoring of the vegetation. Spectral measurements of the attenuation of radio-waves in the crown of the trees are given. Semi-empirical models for the change processes in the forest ecosystems are characterized concerning their role in the greenhouse effect management.

1. ВВЕДЕНИЕ

При дистанционном микроволновом мониторинге земных покровов могут решаться задачи диагностики различных экосистем, включая почвенный покров и лесные пожары. При сильном задымлении оптические методы оказываются неинформативными и применяются радиометрические сенсоры. Но здесь возникает необходимость при решении обратной задачи радиометрии.

Пожары играют существенно значимую роль в формировании лесных экосистем. Более того, можно утверждать, что они являются неотъемлемым элементом их развития. Пожар в лесу возникает либо при ударе молнии, либо по антропогенным причинам. По имеющимся оценкам плотность ударов молний в тропиче-

ских лесах достигает за год 50 на км², а в лесах умеренной зоны эта величина значительно меньше и достигает величин 2-5 ударов на км² в год. Конечно, не всякий удар молнии приводит к лесному пожару. Тем не менее, в различных регионах суши от молний возникает от 2 до 30 процентов лесных пожаров.

За исторический период менялись география и число пожаров, но неизменным являлась их роль в формировании лесных ландшафтов. Многие виды деревьев, такие как сосна, лиственница, береза и осина, в своем развитии прошли пирогенный период. Именно благодаря пожарам эти виды сохранили свои ареалы и не были вытеснены елью, кедром и пихтой. В процессе эволюции светлюбивые породы прибрежи повышенной устойчивостью к пожарам за счет, например, толстой коры и глубокой корневой системы у лиственницы и сосны, а береза и осина после пожара дают обильную поросль от корней. Некоторые виды американских сосен обладают такой защитной реакцией, как раскрытие шишек только после пожара, когда имеются благоприятные условия для прорастания семян.

Некоторые исследователи считают объективным представление, согласно которому практически все современные таежные леса России подвергались изменениям под влиянием пожаров. Современные исследования позволяют подтвердить сказанное и в отношении таежных лесов в историческом и доисторическом прошлом. В этом убеждают, в частности, палеоэкологические разработки, выполненные в США и Финляндии. Исследование пожаров с использованием метода пылевого анализа и на основе изучения следов горения, зафиксированных в ослепших озерных отложениях в Восточной Финляндии, свидетельствуют о масштабности феномена пожаров. За последние 2100 лет пожары были неотъемлемым фактором развития таежных лесов этого региона. Повторяемость больших пожаров в Восточной Финляндии колеблется от 70-110 до 130-180 лет. При этом было отмечено, что пожары стали более частыми в период после 600 г. н.э., когда стало более ощутимо воздействие на лес человека.

Проблема лесных пожаров имеет две стороны - отрицательную и положительную. Отрицательная сторона связана с наличием явного ущерба для лесной экосистемы и экономическими потерями для человека. Положительный аспект лежит в эволюционной роли лесных пожаров. Например, известно, что послеожарное возобновление основных лесов, причем на обширных территориях, осуществляется легко и быстро по сравнению с местами вырубок, во время которых были уничтожены семенники. На тех же тарях, где они не подвергались уничтожению, всходы и подрост появлялись быстро и дружно. Более того, в различных районах мира обнаружено возрастание после некоторых пожаров продуктивности лесных экосистем. Так, в частности, в районах словенского Карста и Истрии на юго-западе Республики Словения было выявлено, что прошедшие здесь пожары влияют на видовой состав растений. Непосредственно после пожара разнообразие видов и жизненных форм даже резко возрастает. Впрочем, в ходе возрастной сукцессии к исходной лесной растительности это разнообразие снижается.

Восстановление лесных сообществ зависит от частоты и интенсивности пожаров. В таежных лесах Сибири относительно частые пожары невысокой интенсивности вызывают изменения возраста и качества древостоев. Смены же лесных насаждений связываются с интенсиивными, но редкими пожарами. Исследования послепожарной динамики лесных экосистем на Дальнем Востоке России показывают, что с пожарами связаны сукцессии лесной растительности. Одновременно было показано, что пожары являются необходимым элементом для поддержания биоразнообразия.

восточной Азии с максимумом в марте, а в Африке, а также в Северной и Южной Америке - в августе. Анализ данных наблюдений обнаружил также существование межгодовой изменчивости лесных пожаров в Индонезии и центральной Америке, коррелирующей с циклом Эль Ниньо/Южное колебание (ЭНЮК) в 1998-1999 гг.

В конце 20-го столетия воздействие пожаров на бореальные леса было более значительным, чем ранее. За последние 20 лет площадь выгоревших бореальных лесов на севере Канады возросла примерно в два раза. Одновременно произошло повышение температуры подстилающей поверхности в бореальных и арктических регионах Аляски за прошедшее столетие в пределах $2-4^{\circ}\text{C}$ (в том числе - на $1-2^{\circ}\text{C}$ за последние десятилетия). Потепление климата, происшедшее на Аляске за последние десятилетия, является составной частью потепления, наблюдавшегося на всем северо-западе Сев. Америки. В настоящее время на Аляске имеет место также потравание вечной мерзлоты.

Некоторые данные указывают на то, что причиной тренда потепления климата в Сев. Америке могли быть природно обусловленные лесные пожары, хотя существуют, конечно, и обратная зависимость режима лесных пожаров от климатических условий. Оценки показали [4,6], что глобальное потепление климата, которое может возникнуть при удвоении концентрации CO_2 способно привести к возростанию площади выгоревших бореальных лесов на 40%. В свою очередь изменение режима пожаров в бореальных лесах влияет на формирование глобального круговорота углерода, изменяя пространственную структуру и режим функционирования бореальных экосистем. Для оценки влияния обусловленных лесными пожарами возмущающих воздействий на круговорот углерода необходимо исследовать возмущающих воздействий моделей биосферы суши с учетом процессов, позволяющие крупномасштабных моделей биосферы почвы, а также гидрологическую и биохимическую динамику экосистем бореальных лесов.

Преобладающие зоны вечной мерзлоты принадлежат к числу регионов, которые наиболее чувствительны к глобальному потеплению климата. Эти зоны в значительной степени перекрываются с циркумполярным поясом бореальных лесов в северной полушарии. Термическое состояние вечной мерзлоты в рас-сматриваемых зонах очень неустойчиво, поскольку температура часто оказывается близкой к -1°C или даже выше. Пространственное распределение вечной мерзлоты в сильной степени зависит от таких факторов как типы ландшафта, почва и растительного покрова. Наиболее важным фактором, контролирующим деградацию или развитие вечной мерзлоты, является наличие и толщина поверхностного органического слоя почвы. Если этот слой оказывается удаленным, то происходит уменьшение альбедо и возрастание теплопроводности поверхностного слоя почвы с примерно 0,2 до $1,0 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$. Лесные пожары в бореальных лесах (2000 г.). Воздействие пожаров на толщину органического слоя почвы. Пожары вызывают наиболее сильно влияют на толщину органического слоя почвы. Пожары вызываются одним из природных компонентов динамики экосистем бореальных лесов. В течение второй половины 20-го века площадь пожаров в северо-американских бореальных лесах возросла с 1 млн. га/год (1950 г.) до почти 3 млн. га/год (2000 г.). Воздействие пожаров на лесные экосистемы проявляются как влияние на тепловой и водный баланс и вечную мерзлоту через посредство как кратковременных, так и долговременных процессов. Типичный период возвратных пожаров в бореальных лесах варьирует в пределах 29-300 лет в зависимости от условий климата и антропогенных воздействий. Что касается кратковременных процессов, связанных с влиянием пожаров на влажность и тепловой режим поч-

вы, то они изучены сравнительно хорошо. Возникновение пожара сразу сопровождается увеличением влажности почвы за счет спада эвапотранспирации, но через два года после пожара на выгоревшей территории иногда наблюдался спад влажности почвы. Послепожарная ситуация характеризуется значительным перераспределением компонентов теплового баланса подстилающей поверхности. Это происходит, в частности, из-за уменьшения альбедо поверхности и, соответственно, - роста поглощенной коротковолновой радиации с последующим увеличением явного и скрытого потоков тепла. Все это приводит к спаду радиационного баланса, но к усилению поступления тепла в почву.

Анализ информации о лесных пожарах демонстрирует разнообразную и противоречивую природу этого явления. С одной стороны, - лесные пожары - это стихия природного (а иногда и антропогенного) происхождения, причиняющая серьезный материальный ущерб. С другой стороны, - пожары - необходимый компонент эволюции лесов, обеспечивающий их обновление. Еще один не менее важный аспект связан с выбросами в атмосферу во время лесных пожаров разнообразных малых газовых и аэрозольных компонентов, оказывающих существенное влияние на протекающие в атмосфере химические и другие процессы. Особого внимания заслуживает проблема гетерогенных химических реакций на частицах водного (облака) и твердого аэрозоля. Критически важна роль динамики облачного покрова в формировании климата диктует потребность в детальном изучении сложных взаимодействий между атмосферным (в том числе дымовым) аэрозолем и облаками. С точки зрения проблемы климата существенно учитывать не только влияние последствий лесных пожаров на климат, но и обратное воздействие изменений климата на условия возникновения лесных пожаров. Мы имеем дело, таким образом, с исключительной сложностью проблемной понимании интeрактивной совокупности разнообразных физических, химических и биологических процессов. Магистральный путь решения этой задачи - получение необходимых наблюдений и применение методологии численного моделирования системы «природа - общество» [8]. Пока что мы находимся еще в начале этого пути. Важным шагом в этом направлении является программа ЕФЕУ [38] изучение воздействий горения растительности (лесные пожары, сжигание биомассы и др.) на состав и циркуляцию атмосферы.

Заключение

В данном отчете изложены следующие результаты:

1) Проведенный анализ ослабления электромагнитных волн микроволнового диапазона в полове леса позволяет сделать вывод о возможности значительного повышения оценки характеристик лесной экосистемы с помощью радиометров радиодиапазона.

2) Выявленные эффекты ослабления электромагнитных волн лесным покровом ставят задачу проведения дополнительных исследований вклада отдельных элементов деревьев в это ослабление с учетом типа дерева и структуры лесного полога.

3) Показано, что в результате лесного пожара создается ситуация изменения элементов радиационного баланса на территории сгоревшего лесного массива, заключенная в смене потоков углерода и углекислого газа, а также искажения альбедо. Эти изменения носят интeрактивный характер со сменой направленно-сти элементов энергетического баланса.

- 4) Предложена схема модели обмена углекислым газом между атмосферой, сушей и океанами, позволяющая оценить вклад лесных пожаров в бордальном поясе в глобальные изменения климата.
- 5) Предложена информативная технология для комплексного изучения радиационного баланса в лесных экосистемах, основанная на объединении моделей, алгоритмов обработки данных мониторинга и планирования измерений.
- 6) Привлечены результаты использования этой технологии для оценки ослабления электромагнитных волн лесами различного типа.

Литература

1. Бородин Л.Ф., Миронов А.С., Бурков В.Д., Крапивин В.Ф., Потапов И.И., Шалаев В.С. Технологический процесс измерения температурных аномалий в лесных и лесо-болотных комплексах методами СВЧ-радиометрии. *Проблемы окружающей среды и природных ресурсов*, 2008, №4, с. 75-93.
2. Бурков В.Д., Крапивин В.Ф., Потапов И.И. Парниковые газы и климат. *Экологические системы и природу*, 2008, №3, с. 39-43.
3. Бурков В.Д., Крапивин В.Ф., Шалаев В.С. Роль лесных экосистем в регулировании парникового эффекта. *Лесной Вестник*, 2008, №1, с. 20-31.
4. Григорьев А. А., Кондратьев К.Я. (2005). Природные и антропогенные лесные пожары: компонент экодинамики и стихийные бедствия. // *Изв. РГО*, 2005, том 137, вып. 1, с. 3-40.
5. Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф. Моделирование глобального круговорота углерода. М.: Наука, 2004. - 335 с.
6. Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф. Природные бедствия как интерактивный компонент глобальной экодинамики. Из-во ВВМ, Санкт-Петербург, 2006, 624 с.
7. Крапивин В.Ф., Кондратьев К.Я. Глобальные изменения окружающей среды: эконинформатика. Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2002. - 724 с.
8. Крапивин В.Ф., Потапов И.И. Эколого-экономические аспекты управления природными ресурсами. *Экономика природопользования*, 2008, №3, с. 24-33.
9. Крапивин В.Ф., Потапов И.И. Проблемы глобализации и социально-экономического развития в контексте изменений климата. *Экономика природопользования*, 2008, №1, с. 3-10.
10. Суков А.И., Солдатов В.Ю., Потапов И.И., Крапивин В.Ф. Применение последовательного анализа Вальда к обнаружению моментов смены фазовых состояний системами окружающей среды. Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2008, №7, с. 72-81.
11. Суков А.И., Крапивин В.Ф., Потапов И.И., Солдатов В.Ю. Эффективность мониторинговых систем обнаружения. Экологические системы и приборы, 2008, №6, с. 3-8.
12. Чухланцев А.А., Маречек С.В., Бурков В.Д., Крапивин В.Ф., Шалаев В.С. Исследование характеристик поглощения электромагнитных волн СВЧ-диапазона фрагментами различных пород деревьев. *Проблемы окружающей среды и природных ресурсов*, 2008, №4, с. 3-16.
13. Александров Г. and Ойкава Т. TsubiMo: a biosphere model of the CO₂ - fertilization effect // *Climate Res.*, 2002, No. 19, pp. 265-270.
14. Björkstom A. A model of CO₂ interaction between atmosphere, ocean and land biota. In: *Global Carbon Cycle*. SCOPE-13. Wiley, New York, 1979, pp. 403-458.
15. Vazzaz F. A. Global CO₂ levels and the response of plants at the population and community levels. In: C. Kozenzweig and R. Dickinson (eds). *Climate-Vegetation Interactions*. USCAR, Maryland, 1986, pp. 31-35.
16. Vazzaz F. A. Tropical forests in a future climate: Changes in biological diversity and impact on the global carbon cycle // *Climate Change*, 1998, V. 39, No. 2-3, pp. 317-336.
17. Chukhlansev A. A. Microwave emission and scattering from vegetation canopies. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 1992, 6:1043 - 1068.
18. Chukhlansev A. A. Microwave Radiometry of Vegetation Canopies. Springer, Berlin, 2006, 287 pp.
19. Chukhlansev A. A. and Golovachev S. P. (1989) Microwave attenuation in a vegetation canopy. *Радиотехника і Електроніка*, 34:2269-2278 (in Russian).
20. Chukhlansev A. A., Shukko A. M., and Golovachev S. P. Attenuation of electromagnetic waves by vegetation canopies in the 100-1000 MHz frequency band. *ISTC/IRE Technical Report*, #2059-1, 2003, 59 pp.
21. Ji Y. and Stocker E. (2002). Seasonal, intraseasonal, and interannual variability of global land fires and their effects on atmospheric aerosol distribution. // *J. Geophys. Res. D*, 2002, vol. 107, no. 23, pp. AСН10/1-ACU10/11.
22. Jones C. D. and Cox P. M. Modelling the volcanic signal in the atmospheric CO₂ record // *Global Biogeochem. Cycles*, 2001, V. 15, No. 2, pp. 453-466.
23. Karim M. A. and Fung A. K. (1988). Electromagnetic scattering from a layer of finite length, randomly oriented, dielectric, circular cylinders over a rough interface with application to vegetation. *Int. J. Remote Sensing*, 9:1109-1134.
24. Karim M. A., Fung A. K., Lang R. H., and Chaulan N. S. A microwave scattering model for layered vegetation // *IEEE Trans. on Geosci. And Remote Sensing*, 1992, 30(4): 767-784.
25. Kondratyev K. Ya., Kariviv V. F., and Phillips G. W. Global environmental change: Modeling and Monitoring. Springer, Berlin, 319 pp.
26. Kondratyev K. Ya., Kariviv V. F., and Varotsos C. A. Global Carbon Cycle and Climate Change. Springer/PRAxis, Chichester UK, 2003, 368 pp.
27. Lang R. H. (2004). Scattering from a layer of discrete random medium over a random interface: application to microwave backscattering from forests. *Waves in Random Media*, 14:s339-s391.
28. Le Vine D. M., Schneider A., Lang R. H., and Sarter H. G. (1985). Scattering from thin dielectric disks. *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 33:1410-1413.
29. Lee K., Wapikho R., Takahashi T., Doney S. C., and Feely R. A. (1998). Low interannual variability in recent oceanic uptake of atmospheric carbon dioxide // *Nature*, 1998, V. 396, No. 6707, pp. 155-159.
30. Liu H., Randerston J. T., Lindfors J., and Charin P. F. Changes in the surface energy budget after fire in boreal ecosystems of interior Alaska: An annual perspective. *Journal of Geophysical Research*, 2005, vol. 110, pp. 1-12.
31. Minzter I. M. A matter of degrees: the potential for controlling the greenhouse effect. *World Resources Institute Res. Rep.*, 1987, no. 15, 70 pp.
32. Mikhaylan F. A., Kariviv V. F., and Golovachev S. P. An adaptive microwave radiometry technology for the monitoring forest ecosystems and coastal zones. *Proceedings of the Pinkei, Ho Chi Minh and Pattaya Conferences*. Nagoya University, Japan, 2008, pp. 113-124.
33. Randerston J. T., Liu H., Flanner M. G., Chambers S. D. et al. The impact of boreal forest fire on climate warming. *Science*, 2006, vol. 314, pp. 1130-1132.