

Дистанционное зондирование. Теоретические вопросы практического применения

В.В. Степанов

*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт Росгидромета
199397 Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38
E-mail: yvs@aari.nw.ru*

Обсуждается концептуальный подход к моделированию системы дистанционного зондирования. На основе положения о континууме предметной области предложена модель дистанционного зондирования, отражающая поведение технических средств измерения или определения в природной среде с участием человека. Описана запатентованная модель процесса дистанционного зондирования.

Введение

Последние десятилетия можно назвать особо значащими для практического применения данных дистанционного зондирования. Был обеспечен доступ к вычислительным ресурсам большой мощности за достаточно малую стоимость. Получен широкий диапазон апробированных методов дешифрирования, основанных на выявлении и использовании в целях научного познания и нахождения прямых или косвенных зависимостей между зафиксированными в аэрокосмических изображениях параметрами излучений и характеристиками объектов системы атмосфера-подстилающая поверхность.

Так, для получения параметров состояния атмосферы и подстилающей поверхности с использованием данных дистанционного зондирования применялись съемки, различные по способам измерения, использованному диапазону излучения и пространственному разрешению, а также визуального и количественного анализа параметров принятого излучения (интенсивность, спектральный состав, временная изменчивость излучения).

Для анализа данных использовались как прямые дешифровочные признаки, априорно известные или выявляемые в процессе целенаправленного изучения материалов съемки, так и косвенные признаки, которые наиболее часто используются при визуальном дешифрировании изображений.

За указанный период при использовании прямых дешифровочных признаков с применением инструментальных или автоматизированных методик точность дешифрирования возросла незначительно. Данный факт можно объяснить сложностью физических механизмов связи элементов системы атмосфера – подстилающая поверхность и уникальной индивидуальностью и постоянной изменчивостью фиксируемых в получаемых данных их параметров.

Однако, несмотря на достигнутые успехи, можно констатировать, что богатейшие, информационные ресурсы дистанционного зондирования используются в целом весьма слабо [1].

Данный факт можно объяснить тем, что концепция, в основе которой лежат физические основы дистанционного зондирования (а остальные аспекты выводятся из них) уже не отвечает способам решения практических и оперативных задач. Это ведет к переходу к новой парадигме в подходе к решению практических задач.

Континуум предметной области

Предлагается, что при постановке конкретных практических задач новая концепция может быть основана на включении в состав технических средств рассматриваемой системы дистанционного зондирования природной среды (как компонентов атмосферы и подстилающей поверхно-

сти) и человека. Такое включение создает континуум предметной области и позволяет рассматривать весь комплекс задач, связанных с инновационным процессом.

Данный континуум отражает, во-первых, непрерывность расположения дискретных элементов системы «атмосфера – подстилающая поверхность» – процессов, свойств природной среды и порождаемых ими явлений и, во вторых, непрерывность пространства-времени их реализации.

Первое предположение основано на том, что упорядоченность, периодичность или цикличность процессов связана с приходом солнечной радиации, вращением Земли вокруг Солнца и наклоном оси вращения Земли. А данный факт означает иерархичность, вложенность континуума. Его пример изображен на рис. 1, где по оси абсцисс отложен логарифм времени существования процесса или явления, а по оси ординат – их пространственные размеры. Все остальные процессы можно отнести к быстропротекающим, непериодическим процессам в природной среде.

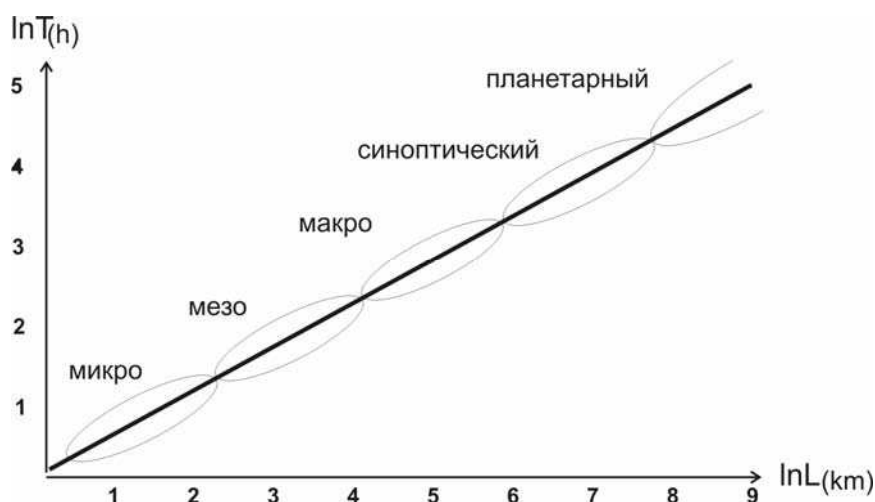


Рис. 1. Пространственно-временной континуум процессов в системе атмосфера – подстилающая поверхность

Человек в системе дистанционного зондирования участвует как источник результатов интеллектуальной деятельности – автор и интерпретатор методов и способов прямого и косвенного дешифрирования.

Модель системы дистанционного зондирования

Предлагаемая модель [2, 3] относится к космическим системам дистанционного зондирования, в частности к системам наблюдения за земной поверхностью из космоса, и может быть использована для получения характеристик окружающей природной среды с борта летательного аппарата, например искусственного спутника Земли (ИСЗ), самолета, вертолета, при решении задач исследования природных ресурсов Земли и других прикладных задач.

Известна система космического дистанционного зондирования Земли [4], включающая орбитальную группировку спутников, оснащенных съемочной аппаратурой, и наземный сегмент, состоящий из наземного комплекса управления орбитальной группировкой и сети наземных станций приема данных.

Недостатком системы является отсутствие в ее составе объектов наблюдения, что не позволяет построить систему обработки информации, получаемую с ее помощью, адекватную целям наблюдения.

Известна также система дистанционного зондирования [5], включающая Землю, космический сектор, включающий размещенные на борту ИСЗ датчики и размещенные на Земле системы предварительной обработки, анализа и хранения данных.

Ее недостатком является невозможность определения перечня конкретных операций по обработке информации данных.

Наиболее близкой по технической сущности к разработанной системе является система дистанционного зондирования с оптимальной автоматической интерпретацией данных и принятием решения [6], состоящая из объекта наблюдения с характеристиками, поддающимися наблюдению, выходы которого поступают на вход блока помех, выходы которого воздействуют на вход установленных на ИСЗ датчиков, на которые также подаются исходные данные от модуля обработки и представления данных выходы которого соединены с датчиком и исходными данными об объекте, датчике, помехах, а входы соединены с модулем обработки и модулем интерпретации результатов и принятия решения.

Недостатком указанной системы также является невозможность определения перечня конкретных операций по обработке информации с целью получения конкретного результата, на который была нацелена работа системы дистанционного зондирования.

Цель разработанной модели заключается в повышении информативности измерений характеристик природной среды и возможности определения состава операций при выполнении различного вида обработки данных дистанционного зондирования.

Указанная цель достигается за счет того, что в состав объекта наблюдения включают атмосферу и подстилающую поверхность, выход которой (излучение объектов) воспринимается ИСЗ, включающего размещенные на его борту датчики, содержащие устройства кодирования и радиопередатчики, выход которых - радиосигнал является входом размещенного на Земле модуля обработки, интерпретации результатов и принятия решения, в состав которого включены радиоприемное устройство и материальные носители информации с файлами данных, содержащих информацию о результатах обработки, причем предварительная обработка, заключается в декодировании принятого с приемного устройства радиосигнала передатчика ИСЗ, содержащего информацию о величине сигнала с входа датчика; первичная обработка заключается в восстановлении значения параметров электромагнитного излучения, порождаемого комплексным явлением и поступающего на вход размещенного на ИСЗ датчика; вторичная обработка, заключается в восстановлении значения параметров электромагнитного излучения, формируемого отдельным явлением; тематическая обработка заключается в восстановлении характеристик протекающих в объекте наблюдения процессах, а также результаты всех этапов обработки, а в объект наблюдения дополнительно включены процессы, порождающие наблюдаемые в них явления, обусловленные свойствами природной среды.

Состав системы поясняется чертежом (рис. 2), на котором приведена ее функциональная схема.

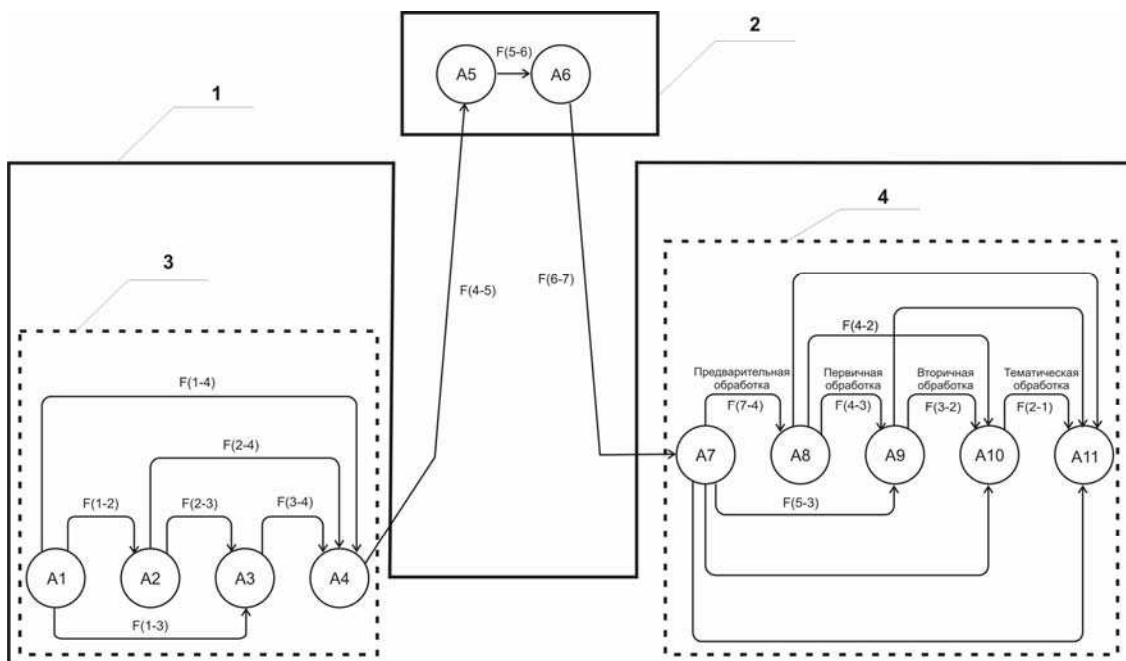


Рис. 2. Система дистанционного зондирования

Система дистанционного зондирования включает:

- 1- Наземный сектор;
- 2- космический сектор - ИСЗ;
- 3- объект наблюдения;
- 4- модуль обработки, интерпретации результатов и принятия решения;

(A₁) – физические природные процессы, протекающие в системе "атмосфера - подстилающая поверхность", характеризуемые свойством материального мира, как объективно существующей формой проявления сущности объекта материального мира (природы);

(A₂) – явления как индикаторы физических процессов – объективно существующая качественная характеристика объекта материального мира;

(A₃) - наблюдаемое комплексное явление, как совокупность простых явлений ($\sum A_2$);

(A₄) – комплексное электромагнитное излучение – спектральный образ, содержащий информацию о комплексном явлении;

(A₅) – дистанционный датчик, содержащий информацию о комплексном излучении и влиянии на него прохождение природной среды (шумы);

(A₆) – кодирующее устройство с радиопередатчиком, содержащее на выходе информацию о комплексном излучении и шумах;

(A₇) – радиоприемное устройство с антенной, содержащее на выходе декодированное значение сигнала выхода чувствительного элемента датчика дистанционного зондирования и шумов радиотракта. Указанное значение получается путем вычислений, являющихся функцией обратных преобразований от F(6-7);

(A₈) – материальный носитель устройства обработки информации с файлами данных об информации по восстановленному значению измеренных параметров (характеристик излучения) комплексного явления на входе чувствительного элемента датчика дистанционного зондирования, на основе обработки сигнала выхода приемного устройства с использованием закономерности (закона) связи F(7-5) – предварительной обработки, являющегося функцией обратных преобразований от F(5-6) (система бортового преобразования сигнала – кодирования);

(A₉) – материальный носитель устройства обработки с файлами информации, содержащая восстановленное значение параметров (характеристик) комплексного явления, на основе закономерности F(4-3) – первичной обработки - восстановления значений параметров электромагнитного излучения, порождаемого комплексным явлением и поступающего на вход размещенного на ИСЗ датчика, являющегося функцией обратных преобразований от F(3-4) (формировании электромагнитного излучения от комплексного явления);

(A₁₀) – материальный носитель устройства обработки с файлами информации, содержащая восстановленное значение параметров (характеристик) отдельных физических явлений, вызванных определенными процессами в системе "атмосфера - подстилающая поверхность" на основе закономерностей F(3-2) – вторичной обработки, являющегося функцией обратных преобразований от F(2-3) (формировании комплексного явления из отдельных "простых" явлений, возникающих при процессах, происходящих в системе "атмосфера – подстилающая поверхность");

(A₁₁) – продукция дистанционного зондирования - результаты тематической обработки содержащие информацию о пространственном распределении физических процессов в системе "атмосфера - подстилающая поверхность", на основе закономерности F(2-1) (связи процесс – явление); к продукции можно отнести и (A₇), (A₈), (A₉), (A₁₀) в случае, если они были заказаны как отдельный вид продукции.

Функционирование системы (рис. 2) рассмотрим на примере определения термических аномалий подстилающей поверхности, например, при мониторинге лесных пожаров с учетом того, что продукцией при указанных действиях является лесопожарные карты, а характер проявления поражающего фактора – пламя, дым [7].

Процессами, происходящие при лесных пожарах (A₁) являются теплофизические процессы горения лесных горючих материалов [8]. Указанный процесс сопровождается явлениями (A₂) по-

вышенной температуры объектов поверхности Земли 1 (леса), пространственным распределением продуктов горения (выгоревших лесных участков) и в распространение дымового факела. Комплексным явлением (A_3) будет наличие тепловых аномалий на выгоревших участках леса. Комплексным излучением (F_4) будет спектр электромагнитного излучения, содержащий информацию о лесном пожаре, который характеризует:

- зависимость от температуры (нагрев объектов);
- зависимость от цвета (выгоревшие участки леса и дымовой факел).

Такой спектр включает диапазон инфракрасного излучения 8-12 мкм и спектр видимого излучения 0,5-0,8 мкм. Этот спектр излучения, проходя атмосферу, искажается, и на вход чувствительного элемента датчика дистанционного зондирования ИСЗ 2 (A_5) поступает излучение, отличное от (A_4) на величину атмосферных "шумов".

На борту космического аппарата этот сигнал кодируется (в цифровой или аналоговый вид с помощью кодирующего устройства (A_6)). Закодированный сигнал через радиопередатчик (A_6) по радиоканалу поступает на радиоприемное устройство (A_7) модуль обработки, интерпретации результатов и принятия решения 4.

Указанное значение получается путем вычислений, являющихся функцией обратных преобразований от $F(6-7)$.

Записанный на носители информации сигнал может быть самостоятельным видом продукции дистанционного зондирования (A_{11}), отображающим декодированное значение сигнала с выхода чувствительного элемента датчика дистанционного зондирования и шумов радиотракта. При мониторинге лесных пожаров указанный сигнал используется как промежуточный вид информации, который передается по радиоканалам потребителям и для дальнейшей обработки.

Если сигнал подвергается далее предварительной обработке $F(7-4)$, которая заключается в декодировании (обратных преобразований от $F(5-6)$) сигнала (A_7), то ее результатом является восстановленное значение параметров (характеристик) излучения комплексного явления на входе чувствительного элемента датчика дистанционного зондирования (A_8). При мониторинге лесных пожаров указанный сигнал используется как промежуточный вид информации, который передается по радиоканалам потребителям и для дальнейшей обработки.

Записанный на носители информации такой сигнал может быть самостоятельным видом продукции дистанционного зондирования (A_{11}), как пространственным распределением характеристик излучения комплексного явления на входе чувствительного элемента датчика дистанционного зондирования.

Если сигнал подвергается далее первичной обработке, которая состоит в восстановлении значения параметров (характеристик) комплексного явления (A_9), на основе закономерности $F(4-3)$, являющегося функцией обратных преобразований от $F(3-4)$ – формировании электромагнитного излучения от комплексного явления без учета влияния атмосферы и шумов. При мониторинге лесных пожаров указанный сигнал используется как промежуточный вид информации, показывающий качественные характеристики комплексного явления – пожара как источника повышенной температуры и аномалий – дымовых факелов, который передается по радиоканалам потребителям и для дальнейшей обработки.

Записанный на носители информации сигнал может быть самостоятельным видом продукции дистанционного зондирования (A_{11}) – восстановленным значением параметров электромагнитного излучения, порождаемого комплексным явлением.

Если сигнал подвергается далее вторичной обработке, то по ее окончании получим восстановленное значение параметров (характеристик) отдельных физических явлений (A_{10}), вызванных определенными процессами в системе "атмосфера – подстилающая поверхность" на основе закономерностей $F(3-2)$, являющейся функцией обратных преобразований от $F(2-3)$ – формировании комплексного явления из отдельных "простых" явлений, возникающих при процессах, происходящих в системе "атмосфера – подстилающая поверхность". При мониторинге лесных пожаров указанный сигнал используется как промежуточный вид информации, показывающий количест-

венные характеристики отдельных явлений – аномального повышения температуры и аномалий – дымовых факелов, который передается по радиоканалам потребителям и для дальнейшей обработки.

Если указанные выше результаты обработки (A_7) – (A_{10}) и результаты тематической обработки – восстановленное значение параметров (характеристик) физических процессов в системе "атмосфера – подстилающая поверхность", на основе закономерности $F(2-1)$ – связи процесс – явление представляются как их пространственного распределения то получим продукцию дистанционного зондирования (A_{11}) – распределение характеристик, описывающих теплофизические процессы в различной стадии их интерпретации. При мониторинге лесных пожаров указанный сигнал используется как продукция, которая представляет пространственное распределение процесса – лесного пожара в виде карты, построенной по определенным правилам с использованием (A_{10}).

Устройства обработки, осуществляющие соответствующие преобразования, могут быть реализованы на базе стандартных ЭВМ.

Литература

1. Жуков В.Т., Лазарев Г.Е., Фивенский Ю.И. Комплексный анализ и прогноз месторождений углеводородного сырья и экологических характеристик по данным аэрокосмической съемки. М., 1997. 6 с.
2. Степанов В.В. Система дистанционного зондирования. Патент на полезную модель № 58735 // Бюллетень «Изобретения. Полезные модели» от 27.11.2006
3. Степанов В.В. Научные открытия, изобретения и технологии в гидрометеорологии и смежных областях: методические рекомендации по правовой охране и использованию результатов интеллектуальной деятельности. СПб: Наука, 2006. 326 с.
4. Васильев С.В., Кизнер В.Г. Система космического дистанционного зондирования земли и способ космического дистанционного зондирования земли. Заявка на получение патента Российской Федерации на изобретение № 99124317 // Бюллетень «Изобретения. Полезные модели» от 27.08.2001
5. Дейвис М., Ландгребе Д.А., Филлипс Т.Л. и др. Дистанционное зондирование: количественный подход. М., Недра, 1983. 415 с.
6. Шанда Э. Физические основы дистанционного зондирования. М.: Недра, 1990. 208 с.
7. ГОСТ Р 22.1.09-99 Государственный стандарт Российской Федерации. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования.
8. Арцыбашев Е.С., Гучев В.Г., Поминов В.Ф., Хилов А.М. Использование спутниковой информации для определения координат лесных пожаров // Борьба с лесными пожарами. – СПб, 1998. С.15-22.