

Комплексные синхронные и квази-синхронные измерения и наблюдения при дистанционном аэрокосмическом исследовании Земли

Д. Н. Мишев, Г. Х. Мардиросян

Институт космических исследований БАН

1. Введение

Для качественной и эффективной обработки и интерпретации данных, полученных в результате дистанционных аэрокосмических исследований Земли, необходимо большое количество информации о физико-химических, геометрических, биометрических и оптико-физических характеристиках природных объектов и образований. Она получается наземными измерениями и используется в качестве контрольной и априорной информации для идентификации вида и состояния исследуемых объектов и условий, при которых проводятся исследования [1, 2]. Наземные измерительные комплексы занимают основное место в сложной, многозвеньевой системе, посредством которой проводится синхронный аэрокосмический эксперимент дистанционного исследования Земли [3]. Этот эксперимент оказывается более эффективным при его проведении с трех уровней (этажей):

— искусственными спутниками Земли (ИСЗ), пилотируемыми космическими кораблями (ПКК) и орбитальными научно-исследовательскими станциями и комплексами (ОНИЛ и ОНИК);

— самолетными и вертолетными лабораториями (СЛ и ВЛ);

— наземными измерительными комплексами (НИК).

Объектами наземных измерений являются сравнительно большие по количеству и разнообразные по характеру параметры природных и являющихся следствием антропогенного воздействия явлений и процессов. В общем случае их можно классифицировать в следующие три группы [4]:

1. Явления и процессы, независимые от человека и не контролируемые им:

а) нормальные, регулярные, периодические и циклические - явления и процессы, связанные с Солнцем и Луной, и, на первом месте, все восходно-заходные эффекты Солнца;

б) смущения, аномальные и стихийные явления и процессы — атмосферные и ионосферные смущения, магнитные аномалии, наводнения, землетрясения и т. д.

II. Запланированные, организованные и спровоцированные человеком процессы и явления — посредством их различными способами воздействуют на отдельные природные параметры с целью их планомерного изменения: изменение влажности почвы посредством орошения, химического состава поверхностного почвенного и водяного слоев, уровня и скорости течений водных пространств, вызывание акустических, сейсмических и водяных волн в результате взрывов, изменение содержания аэрозольных частиц в приземном атмосферном слое и т. д.

III. Процессы и явления, порожденные комбинированным воздействием, цель которого оказать влияние на их направление, регулирование, усиление или ограничение.

Синхронному аэрокосмическому эксперименту дистанционного исследования Земли присущи некоторые характерные особенности, более важные среди которых заключаются в следующем:

1) проведение их в тот интервал времени, когда Солнце находится в зените;

2) из-за большой скорости движения СЛ и ВЛ, и в особенности ИСЗ, ПҚК, ОНИЛ и ОНИК, его продолжительность очень короткая — до нескольких минут;

3) в связи с разнообразием и сложностью параметров и условий, при которых они измеряются, каждый эксперимент уникален и практически неповторим.

Важным является вопрос о синхронности комплексных измерений и наблюдений при дистанционном аэрокосмическом исследовании Земли. В принципе, трудно разграничить синхронные измерения и наблюдения от квазисинхронных. Это зависит от высоты и скорости ИСЗ, ПҚК, ОНИЛ, ОНИК, СЛ и ВЛ, от условий измерения и возможностей измерительной аппаратуры, но прежде всего — от скорости изменения измеряемых параметров (см. п. II). Вот почему при данном комплексном эксперименте дистанционного аэрокосмического исследования Земли для одних параметров этот эксперимент может быть синхронным, а для других — квазисинхронным. В принципе, для более медленно изменяющихся параметров можно принять, что измерения и наблюдения синхронные, а для быстро изменяющихся — квазисинхронные.

II. Измеряемые параметры

Параметры, являющиеся объектом наземных измерений при синхронном аэрокосмическом эксперименте, очень разнообразны и находятся в прямой зависимости от конкретных целей и задач эксперимента и от условий его проведения. Несмотря на это, возможна, а и ниже представлена наиболее общая классификация.

1. Спектральные характеристики:

1.1. Спектральные отражательные характеристики,

1.2. Спектральные излучательные характеристики,

1.3. Спектральный состав прямой, рассеяной и отраженной солнечной радиации.

2. Температура:

2.1. Температура поверхностного почвенного слоя,

- 2.2. Температурный профиль почвы в глубину,
- 2.3. Температурный профиль приземного и приподнятого атмосферного слоя.
- 3. Влажность:
 - 3.1. Влажность поверхностного почвенного слоя,
 - 3.2. Влажность почвы в глубину,
 - 3.3. Влажность приземного атмосферного слоя.
- 4. Геомагнитные параметры:
 - 4.1. Низкочастотная составная часть напряженности геомагнитного поля,
 - 4.2. Высокочастотная составная часть напряженности геомагнитного поля.
- 5. Электропроводимость:
 - 5.1. Электропроводимость поверхностного почвенного слоя.
- 6. Ветер:
 - 6.1. Скорость,
 - 6.2. Направление.
- 7. Гидрологические параметры:
 - 7.1. Уровень воды,
 - 7.2. Скорость течений,
 - 7.3. Температура воды,
 - 7.4. Соленость воды,
 - 7.5. Кислотность воды,
 - 7.6. Электрическая проводимость воды,
 - 7.7. Прозрачность, мутность и окраска воды,
 - 7.8. Волнение.
- 8. Сейсмические параметры:
 - 8.1. Амплитуды и периоды микросейсмического шума,
 - 8.2. Амплитуды, периоды и фазы сейсмических волн.
- 9. Аэрозольные частицы в приземном атмосферном слое:
 - 9.1. Концентрация,
 - 9.2. Плотность,
 - 9.3. Химический состав.
- 10. Снежный покров:
 - 10.1. Высота,
 - 10.2. Плотность,
 - 10.3. Степень покрытия,
 - 10.4. Характер.
- 11. Метеорологическая видимость.
- 12. Атмосферное давление.

Классифицированные таким образом параметры, являющиеся объектом наземных полигонных измерений, имеют широкий динамический диапазон. В общем случае, однако, для большинства параметров можно принять динамический диапазон в 2—3 порядка. При аномальных и стихийных природных явлениях и процессах некоторые параметры (например, амплитуды сейсмических волн) могут достичь диапазона в 5 и более порядков. Все это определяет необходимый динамический диапазон измерительной аппаратуры.

Намного больше разница в скорости изменения отдельных параметров: некоторые изменяются в течение часов и дней (например, температура почвы в глубину), а другие — десятки раз в секунду (например, высокочастотная составная часть геомагнитного поля). Это определяет частоту и продолжительность измерений.

Независимо от того факта, что наземные измерения при синхронном

Таблица 1

№	Виды исследования	Измеряемые параметры	Единицы измерения	Динамический диапазон	Абсолютная точность измерения	Интервал измерения, мин	Продолжительность измерения, с	Число измерительных точек
1	Спектрометрические	спектральные отражательные характеристики спектральные излучательные характеристики спектральный состав прямой, рассеянной и отраженной солнечной радиации	% % W/m ² · μm · sr	— — 0+ 400	> 2 > 2	15 15	~60 ~60	1 1
2	Термометрические	температура приземного воздушного слоя температура приземного слоя температура поверхности почвы	°C °C °C	-20+ +40 -20+ +40 -10+ +50	> 3 ± 0,1 ± 0,1	15 15 15	~60 5 5	1 1 5
3	Гидрометрические	температурный профиль в глубину (до 100 см) влажность приземного атмосферного слоя влажность приземного почвенного слоя профиль влажности в глубине электропроводимость поверхностного почвен- ного слоя	°C % % % %	30+ +100 30+ +80 30+ +80	± 0,1 ± 5 ± 5	30* 15* 15* 30*	10 10 10 20	5 5 2 4
4	Электропроводимость	электропроводимость поверхностного почвен- ного слоя	mS/m ²	0+ 1000	± 5	30*	5	1
5	Геомагнитные	напряженность геомагнитного поля	нТ	35000+ 60000	± 1	10	30	1(3)**
6	Барометрические	атмосферное давление	hPa	800+ 1100	± 7,5	30	10	1
7	Ветер	скорость	м/с	0+ 12	± 0,5	5	1	1
8	Сейсмологические	направление амплитуда движения грунта скорость	α° мм мм/с	0+ 360 0+ 1 0+ 20	± 5 ± 0,02	5 60	1 30**	1 1(3)**
9	Гидрологические	ускорение уровень воды скорость течений температура воды соленость воды кислотность воды электрическая проводимость волнение	мм/с ² см м/с °C ‰ рН μS/cm ²	0+ 150 — 0+ 5 0+ 30 0+ 25 3+ 9 0+ 4000	± 8 ± 1 ± 0,5 ± 0,1 ± 0,2 ± 0,5 ± 5	60 60 30 15 60 30 30	30** 30** 30** 10 10 10 10	1(3)** 1(3)** 1(3)** 1 1 1 1
10	Аэрозольные ча- стицы	концентрация плотность химический состав	м ⁻³ — %	0+ 10 0+ 20 —	± 0,2 ± 1 —	30 30 30	— — —	— 1 1 1

* — Для нормального солнечного дня, без осадков во время наблюдений; ** — непрерывная регистрация; *** — в одной точке можно измерять до 3 компонент (x, y, z).

эксперименте проводятся на специальных полигонах, подобранных таким образом, чтобы они содержали все типичные для данного района физико-географические, климатические, геологические и другие [2] характеристики, представительность результатов, полученных при измерении в одной физической точке, очень различна. Измеряемый параметр в данной точке может быть представительным для различных по величине площадей и объемов — от см^2 и см^3 до сотен и даже тысяч м^2 и м^3 . Это определяет расположение датчиков, структуру и организацию измерений.

Некоторые параметры природных образований, и в первую очередь спектральные характеристики, зависят не только от свойств самих образований, но и от ряда внешних, случайно изменяющихся и смущающих факторов [1]. Такие параметры можно определять с необходимой точностью на основе статистической обработки данных большого количества измерений. Это же определяет необходимую повторяемость и число измерений одного и того же параметра в одной и той же точке.

Сказанное выше дает основание сделать попытку систематизировать параметры, являющиеся объектом синхронных аэрокосмических исследований, предложить циклограммы и способ организации исследований, а также определить необходимые технико-эксплуатационные характеристики измерительной аппаратуры. В табл. 1 даны отдельные измеряемые параметры, единицы измерения, динамический диапазон, абсолютная точность измерения, интервал и продолжительность измерения и число измеряемых точек при синхронном измерении для наиболее общего случая. Разумеется, при определении динамического диапазона учитывается не возможный динамический диапазон в аномальных и экстремальных случаях вообще, а для нормального солнечного дня, без осадков, позволяющий проведение комплексного синхронного аэрокосмического эксперимента.

III. Измерительная аппаратура

Многообразие параметров, являющихся объектом наземных полигонных измерений при синхронном аэрокосмическом эксперименте, их большой динамический диапазон, большая разница в скоростях изменения, небольшая продолжительность и уникальность экспериментов требуют применения разнообразных, с большим динамическим диапазоном, быстродействующих и высоконадежных измерительных аппаратов и систем. Охват и чувствительность измерительной аппаратуры определяются динамическим диапазоном измеряемых параметров.

В общем случае наземные измерения при синхронном аэрокосмическом эксперименте могут проводиться:

а) специально разработанными аппаратами и системами — они в большой степени могут удовлетворять специфическим требованиям, но не являются экономически выгодными;

б) стандартными аппаратами и системами, применяющимися в физике, геофизике, химии, геохимии, метеорологии, гидрологии и т. д. Они не в состоянии полностью удовлетворять специфическим требованиям синхронного аэрокосмического эксперимента, однако обладают большими возможностями взаимозаменяемости. Кроме того, данные и результаты, полученные ими, вполне сопоставимы и могут непосредственно использоваться для нужд науки и практики в соответствующих областях.

В зависимости от способа учета результатов можно использовать аппараты:

- а) с непосредственным визуальным учетом результата;
- б) с автономной регистрацией без электрического тракта;
- в) с электрическим трактом: с автономной регистрацией или исходным сигналом.

К первым двум видам относятся классические измерительные аппараты, широко используемые в геофизике, метеорологии, гидрологии, физике и т. д. Для проведения высокоэффективных исследований и комплексной регистрации данных наиболее подходящими являются аппараты (датчики и преобразователи) третьего вида из-за больших возможностей, которые предоставляет электрический сигнал: усиление, регулирование, фильтрация, телеметрический перенос, полная автоматизация процесса измерения и регистрации и т. д. Здесь необходимо добавить, что опыт категорически подтвердил целесообразность существования индикации, посредством которой возможно проведение визуального контроля измерения, несмотря на наличие электрического тракта и регистрации.

Для некоторых измеряемых параметров, однако, современный технологический уровень все еще недостаточно высок, чтобы реализовались датчики и преобразователи с электрическим выходом, обладающие точностью и надежностью классических аппаратов (гидрометр, барометр и др.), а для других параметров (некоторые гидрологические параметры) датчики и преобразователи пока не разработаны.

Преимущества и недостатки аналоговой и цифровой индикации и регистрации данных хорошо известны, поэтому здесь мы не будем комментировать их, а только утверждать, что необходима цифровая регистрация и индикация, которая гарантирует современный научно-технический уровень наземных полигонных измерений.

IV. Наземный измерительный комплекс — НИК

НИК могут быть стационарными или мобильными. По ряду понятных функциональных, технико-эксплуатационных и, не на последнем месте, экономических соображений наиболее целесообразными являются мобильные НИК (МНИК). Для обеспечения высокоэффективных измерений они должны удовлетворять ряду специфических требований [4, 5].

В общем случае аппаратурное укомплектование каждого МНИКа можно подразделить на следующие основные группы:

- 1) система электропитания — первичная и вторичная;
- 2) аппаратура для определения местонахождения, включая средства точной геометрической привязки;
- 3) система единого точного времени и программно-временное устройство;
- 4) автономные регистраторы;
- 5) система сбора данных;
- 6) служебная радиосвязь, в т. ч. связь между отдельными звеньями исследовательского комплекса;
- 7) подсобная аппаратура.

Разумеется, самой существенной частью, от качества которой в большой степени зависят технико-эксплуатационные характеристики и эффективность всего МНИКа, является измерительная аппаратура — датчики и преобразователи (см. п. III).

Более подробные данные о технических характеристиках и эксплуатационных возможностях разработанного в Институте космических исследо-

ваний при Болгарской академии наук мобильного наземного измерительного комплекса (МНИК) даны в [4, 5, 7].

Компьютеризация и совершенствование математического обеспечения системы сбора данных [8] способствуют постепенному вытеснению специализированных систем точного времени [6], аппаратных программных устройств типа УПУГО [9] и др.

У. Заключение

Как первый опыт, насколько известно авторам, эта классификация и систематизация являются наиболее общими. Это вызвано, прежде всего, следующим:

— до сих пор не было необходимости в синхронном определении столь много параметров, более того — не было готовности к их совместной обработке и интерпретации как самостоятельно, так и на основе данных наблюдений с СЛ, ВЛ и космических объектов;

— все еще не находят широкого распространения и применения необходимые аппаратные и программные средства измерения и регистрации.

Так как параметры, рассмотренные здесь, представляют интерес и для ряда гео- и агронаук, данная систематизация может быть использована и в планировании и проведении отдельных или комплексных экспериментов в области геофизики (магнитологии и сейсмологии), метеорологии, гидрологии, агрофизики, экологии и т. д.

С учетом отечественного и зарубежного опытов необходимо:

— разработать специализированные преобразователи с электрическим выходом;

— компьютеризовать в целом процесс измерений и регистрации;

— разработать необходимые для подобных измерений аппараты, системы и сооружения.

Л и т е р а т у р а

1. Мишев, Д. Дистанционни изследвания на Земята от Космоса. С., БАН, 1981.
2. Горелик, И., А. Грин, Д. Цветков. Аэрокосмические полигоны, задачи исследований и состав наземных наблюдений. — В: Космические исследования земных ресурсов. М., Наука, 1976.
3. Дистанционное зондирование: количественный подход. (Под ред. Свейна и Дейвиса). М., Недра, 1983.
4. Мардиросян, Г. Кандидатска дисертация. С., ЦЛКИ-БАН, 1984.
5. Мишев, Д., Г. Мардиросян, Д. Инджева. Подвижна наземна станция за синхронни спътникови измервания. — Списание на БАН, 27, 1982, № 3.
6. Мардиросян, Г. Система за осигуряване на точно време в геофизични обсерватории. — Бълг. геофиз. сп., 5, 1979, № 2.
7. Mardirossian, G. Mobile ground complex for synchronous space experiments. — In: UN international workshop on remote sensing instrumentation, data acquisition and analysis. Sofia, 1985.
8. Mishiev, D. et al. Data logging system for synchronous and complex space and geonomic investigations. — Space Research in Bulgaria, 1988, No 6.
9. Mishiev, D., G. Mardirossian, S. Zhivkov. Universal programming device for geophysical observatories. — Compt. Rend. Acad. bulg. Sci., 33, 1980, No 4.

Complex synchronous and quasi-synchronous measurements and observations in remote aerospace earth sensing

D. N. Mishev, G.H. Mardirosian.

(S u m m a r y)

Some of the basic problems of the complex synchronous and quasi-synchronous aerospace site measurements and observations in aerospace experiments for remote Earth sensing are considered. A classification of the parameters — subject of measurement in such experiments is made. The dynamic range is determined and the necessary precision, interval and duration of measurements and number of the measurement points are offered. Some problems of the equipment are object of comment.

On the basis of observations and experience in the exploitation of the complex conclusions and recommendations for the future development of methods and means for complex synchronous site measurements in remote aerospace Earth sensing are formulated.