

ПРИМЕНЕНИЕ В ПРАКТИКЕ МОДЕЛЕЙ «ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ», «МЕТОДА ДВИЖУЩЕГОСЯ ИСТОЧНИКА» И «ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА».

Н.П. Булатова

n.p.bulatova@mail.ru

Введение

Дистанционное зондирование Земли из космоса (ДЗЗ) дает возможность получения важной информации о динамических и пространственных характеристиках процессов и явлений на поверхности Земли. Наблюдение Земли наземными, авиационными и космическими средствами, оснащёнными различными видами съёмочной аппаратуры, проводилось с 1960—70-х гг.

Долгое время интерпретация данных ДЗЗ из космоса тормозилась не умением точно устанавливать соответствие между «небесными» координатами спутника и географическим положением объекта зондирования в «земных» координатах. Потребовалось более десяти лет, чтобы достигнуть современного уровня в выполнении мониторинга с ИСЗ поверхности Земли в реальном времени и качественного ее 2D картирования. Это стало возможным благодаря развитию парка приборов и аппаратуры наблюдений, а также вычислительной техники и методов обработки данных, но этих мер оказалось недостаточно. Необходимо было найти принципиально новые решения для дальнейшего развития методов ДЗЗ и исследования Земли из Космоса (получение данных, обработки, расчеты), объединение результатов мониторинга в единую систему – в базы данных.

Началом нашей работы было принципиальное решение проблемы объединения «земных» и «небесных» координат, а именно была разработана модель «Метод Движущегося Источника» (МДИ) (1996 - 2000 гг.). Предложенный автором новый подход дал возможность наблюдения в одном базисе нескольких небесных тел (ИСЗ). Это позволило увеличить точность определения местоположения одного или нескольких ИСЗ в единой «небесной» системе координат, а введение в координатную систему параметра времени упростило эту процедуру. Автором была предложена:

1) новая разработка модели - «Пространственно-временная технологии» (ПВТ) [1], включающая 3D модель Земли [3] и «Метод движущегося источника» (МДИ) (Булатова, 1996-2000) [2] и др.;

2) автор открыл возможность одновременного наблюдения в ПВТ нескольких ИСЗ;

3) объединить обе системы координат: «земную» и «небесную» в одном блоке;

Таким образом, проблема была решена теоретически, и как результат было получено введение нашей технологии ПВТ и метода МДИ в науку о модели ДЗЗ.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

ПВТ была предложена для научных исследований, включающих совместное рассмотрение событий и процессов на поверхности и внутри Земли под воздействием космических источников [3].

Предлагаемая технология [1] включает: 1) трехмерную геометрическую модель Земли [3]; 2) разработанный нами оригинальный "метод движущегося источника" (МДИ) [2].

Для дальнейшей работы введем системы координат:

- а) *I* - сферическая для планеты Земля: $P_G (\varphi, \lambda, R_G)$;
- б) *II* - сферическая для небесной сферы: $P_C (\gamma, \alpha^*, S^*)$;
- в) *III* - декартова система координат XYZ ,

введенная с целью объединения систем (*I*, *II*, *III*) с пространством космоса. В *I*: R_G – радиус геосферы, φ – широта, λ – долгота; во *II*: S^* – расстояние до источника, γ – полярный зенитный угол, α^* – часовой угол (или t – текущее время суток).

МДИ. Положим (в первом приближении) радиус геосферы R_G - мал (например, в масштабе космоса). Тогда системы координат объединены точкой O и направление оси OZ (*I*, *II*, *III*) совпадает с направлением на северный полюс мира - ON .

ПВТ. Положим также (во втором приближении), не вращающаяся геосфера (однородное твердое тело в форме шара) с радиусом, равным $R=R_G$ в (*I*) и небесная сфера отнесены к двум сферическим системам координат «земным» (*I*) и «небесным» (*II*). Эти системы координат также объединены точкой O , а направление оси вращения Земли (*I*) и оси OZ (*I*, *II*, *III*) совпадает с направлением на северный полюс мира – ON .

ТРЕХМЕРНАЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗЕМЛИ

Трехмерная сферическая модель Земли помещена в экваториальную систему координат (*astrometr.*) [4], так что ось вращения Земли совпадает с OZ , которая является общей для всех систем координат (I, II, III), и направлена из точки "0" к Северному полюсу Мира (обозначается как N).

Ось OX направлена на Гринвичский меридиан (что соответствует началу времени земных суток по Гринвичу).

Существенным здесь является выбор начала отсчета координат, а также выбор направления отсчета.

В реальности форма Земли имеет форму, близкую к сфероиду. На экваториальные выступы сфероидальной Земли действуют силы притяжения, прежде всего Луны и Солнца. В результате под действием гравитационных возмущений ось вращения Земли не сохраняет своего положения в пространстве, а совершает очень сложное движение и испытывает периодические колебания. Эти колебания, связанные с поправкой на положение оси вращения Земли (ее прецессией и нутацией во времени [4]), влияют на точность определения широты места. Эти трудности преодолеваются разными способами, которые здесь не обсуждаются.

Оставим оценки этих возмущений для конкретных исследований. Отметим только, что наиболее часто используемые в практике величины из астрономических справочников (видимое склонение и видимое прямое восхождение) учитывают эти возмущения [4,5].

(2) "МЕТОД ДВИЖУЩЕГОСЯ ИСТОЧНИКА" (МДИ) И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ (ПВТ).

Центр, точка O , один для всех трех (I, II, III) систем координат совпадает с геометрическим центром сферы (в данной 3D модели Земли).

Технология ПВТ использует новый базис с двумя измеряемыми параметрами – углами: *полярным зенитным углом* и *часовым углом* (или важным параметром t – текущее время суток).

Измерение углового расстояния между направлением вектора r_{GC} из центра геосферы (точки O) на движущийся источник C и вектором в экваториальной плоскости геосферы дает величину видимого склонения, а измерение r_{GC} с направлением оси OZ – полярный угол, соответственно. Таким образом, эти два угла в сумме составляют 90° . В астрометрии же часто используют для измерения каждого отдельно наблюдаемого объекта два параметра: видимое склонение и видимое прямое восхождение [4].

Новизной в наших моделях ПВТ и МДИ являлось то, что измерения можно было проводить для каждого движущегося источника, или для нескольких объектов (ИСЗ) одновременно [2]. Для трехмерной модели Земли существует еще одно соотношение: вектор r_{GC} , соединяющий центры O геосферы и наблюдаемых источников C или ИСЗ, пересекает земную поверхность, эта точка пересечения представляет собой проекцию положения C (или ИСЗ) на поверхности Земли или географическое место (GPS). Географической координатой этой точки на поверхности Земли является широта – φ (*geograph.*), равная по величине параметру вектора r_{GC} – склонению (*astrometr.*). Таким образом, угол между вектором и экваториальной плоскостью в GPS соответствует широте места $\delta=\varphi$.

ИЗ ИСТОРИИ СОЗДАНИЯ ДЗЗ, ПВТ, МДИ.

Прорыв в создании ДЗЗ в ее современном виде, был достигнут коллективом инженеров и ученых под руководством акад. РАН Н.П. Лаверова (12.01.1930-27.11.2016) с 2002 по 2012 гг. под эгидой Совета по Космосу РАН. В распоряжении разработчиков была информация о результатах развития основ томографии и «сканирования Земли» (Булатова, 1999) и работы по МДИ (Булатова, 2000) [3,2]. К сожалению, по воле сотрудников ИФЗ передача результатов [3,2] была проведена обезличенно, т.е. без ссылки на автора и без его согласия. Но, несмотря на это объединение сыграло положительную роль и ускорило создание ДЗЗ в современном виде.

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛЕЙ ПВТ И МДИ

Первоначально целью создание моделей ПВТ и МДИ было развитие космических технологий для решения задач из области наук о Земле, для наблюдения процессов, происходящих под воздействием космических влияний, как на поверхности, так и внутри Земли [6,7]. Преимущества авторского метода МДИ и ПВТ стали очевидны, когда в ДЗЗ стали использовать группировки спутников, служащие для повышения точности определения их положения на небесной сфере. Использование дополнительных средств навигации (спутников GPS как в GRACE) позволяет наблюдать тонкие эффекты изменений гравитационных полей [8], которые не были бы получены другим путем:

- 1) в нашей модели предложен новый подход, рассматривающий движущуюся по солнечной орбите и вращающуюся Землю как

- неподвижную геосферу (G), которую поместили в геоцентрические системы координат I, II и III [1];
- 2) в нашей модели радиус-вектор r_{GC} соединяет центр O геосферы G с движущимся источником C (например, ИСЗ), и обеспечивает слежение за ИСЗ в «небесной системе координат» [2];
 - 3) в нашей модели ПВТ принципиальным является следующее:
 - а) измеряются только величины углов, а не расстояния;
 - б) измерение параметра – расстояние до ИСЗ – не влияет на точность определение их угловых координат на небесной сфере;
 - 4) наша модель дает возможность слежения за несколькими ИСЗ одновременно [2].
 - 5) наша модель дает возможность представлять результаты в виде полей векторов [3, 6, 7].

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ПВТ и МДИ

1. Метод МДИ увеличивает оперативность и повышает точность навигации [2].
2. Новый оригинальный базис позволяет в единой системе координат наблюдать ансамбли движущихся источников (или ИСЗ), а также особенности изменения (движения) элементов самой Земли: (литосферных плит, перемещения масс и т.д.). Развитие и использование современных систем навигации. [7].
3. Оперативное определение в Роскосмос координат: *полярного и временного углов* по проявившимся сигналам для «найденного» спутника «ПРОТОН-10» было проведено с помощью МДИ просто и быстро [2].
4. Впервые представленный в виде ансамбля векторов [6] поток движущихся частиц (солнечных нейтрино) [3], пришедших к Земле от Солнца, широко используется для представления результатов мониторинга динамики земной поверхности и перемещение физических полей на Земле (движение космических частиц, литосферных плит и т.д.) [6,7].

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА.

Из сконцентрированного в конце прошлого века на фотографировании сферической поверхности Земли или измерения ее моно параметров, ДЗЗ развилось в мощный метод широкодиапазонных и многоканальных наблюдений за Землей из космоса. Своими достижениями метод обязан результатам технического прогресса, бурным развитием космической и приборной техники, например [9]. ДЗЗ выгодно отличается от других

методов богатством возможности видового мониторинга земной поверхности и расположенных на ней объектов.

Определенные успехи были достигнуты и в возможности определения точных координат космического аппарата в реальном времени, а также передаче данных и отображения положения спутников на 2D, 3D картах. Эти достижения позволяют расширять количество наблюдаемых объектов и явлений, проводить постоянный мониторинг изменений земной поверхности (распределения растительности, движения земной поверхности и т.д.) во времени, а увеличение точности регистрации дает возможность сравнения происходящих изменений во времени.

Особенно улучшилось положение после запуска «неподвижных» спутников. Этот вид спутников вращается по стационарной (круговой) орбите, лежащей в плоскости экватора и имеющей высоту примерно в 36 тыс. км. Совершив за сутки один оборот вокруг планеты, с Земли такие спутники могут показаться «неподвижными» [10]. Координаты таких спутников легко определяются. Такие спутники, с известными координатами могут использовать как «небесные» реперы и сильно увеличивают точность определения координат ИСЗ (для исследований). Таким образом, стало возможным использовать группы ИСЗ с различными функциями. Например, одна группа ответственна за точное определение координат, другая, проводит прецизионные измерения исследуемых параметров. Так происходят измерения гравитационного поля Земли, в случае GRACE [8].

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИ ДЗЗ

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) – наблюдение поверхности Земли (и планет Солнечной системы) наземными, авиационными и космическими средствами, оснащёнными различными видами съёмочной аппаратуры. Для масштабного мониторинга геосферы из Космоса (ионосферы, магнитосферы, атмосферы, поверхности океана и ледниковых покровов, климата, растительных и почвенных покровов и т.д.). Рабочий диапазон длин волн, принимаемых съёмочной аппаратурой, составляет от долей микрометра (видимое оптическое излучение) до метров (радиоволны).

1. Космическое зондирование подразумевает использование в работе искусственных спутников Земли (ИСЗ). Количество ИСЗ и виды выбирают в зависимости от поставленных задач. Внутривидовой мониторинг.

2. Для тонких экспериментов, как в GRACE, кроме специальных двух спутников, связанных между собой и использующих сенсоры, настроенные на измерение гравитационных потенциалов в экспериментах участвуют еще и GPS (ИСЗ) для точного определения их координат.

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ДЗЗ

Существуют программы: Федеральная, региональная программы управления экономикой и хозяйством с помощью ДЗЗ. Программа исследования природных ресурсов, растительного покрова планеты, лесов и др. с помощью методов ДЗЗ.

Существуют и некоторые проблемы, которые требуется преодолеть: Федеральная программа использования ДЗЗ, Прикладные программы ДЗЗ, Техническое оснащение.

Успехи ДЗЗ постоянно освещаются в научных публикациях и на конференциях. Важно отметить, что уже более пятнадцати лет ИКИ РАН организует конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». В ноябре 2018 г. прошла 16-я.

К несомненным преимуществам ДЗЗ надо отнести большой круг решаемых практических задач народного хозяйства (мониторинг сельскохозяйственных посевов, вырубки лесов, загрязнение водоемов и т.д.). Результаты этой работы планируется помещать в базы данных видового мониторинга. Научно-исследовательские спутники помогают в проведении научных исследований; с их помощью изучают магнитное поле и радиационную обстановку на нашей планете. Они используются в геодезии, картографии и тектонике, а также метеорология, связи. Сигналы с таких спутников принимаются системой дальней космической связи.

ВЫВОДЫ:

Идея цифрового исследований Земли как открытой системы, т.е. воспринимающей влияние энергии источников космического пространства представлено автором в [11]. Известно, что периодические и циклические движения внешних источников физических полей оказывают существенное воздействие на геосферы Земли (атмосферу, гидросферу, земную кору и т.д.), продуцируя различные природные явления. Их влияние на состояние неоднородностей твердой Земли: границы блоков, литосферных плит,

глубинные разломы в земной коре может приводить к катастрофическим событиям на поверхности Земли: землетрясениям, цунами и др.

Во всех выше перечисленных программах, исследованиях, экспериментах эти три модели (**ПВТ**, **МДИ**, **ДЗЗ**) можно и нужно использовать и применять в соответствии с их возможностями и преимуществами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булатова Н.П. Пространственно-временная технология. Монография. Москва: ЛЕНАНД, 2016. Том 1. Основные положения. с.120.
2. Булатова Н.П. Метод движущегося источника и его применение к исследованию Земли// Вестник ОГГГГН РАН. 2000, М.:ОИФЗ им. О.Ю. Шмидта, №2(12); 2000. 110-125.
3. Булатова Н.П. К вопросу о нейтринной томографии Земли. О геометрии сканирования Земли пучками солнечных нейтрино// Физика Земли, 1999, №2. С.70-80.
4. Подобед В.В., Нестеров В.В. Общая астрометрия. – М.: Наука, 1975. – 552 с.
5. Астрономический ежегодник наблюдений. С.-П-бург.:ИПА РАН (1982-2015)
6. Bulatova N.P. On the Movement of ensembles of objects (planets, tectonic of the plates) by the spatio-temporal technology.// Abstract European Planetary Science Congress 2014.
7. Булатова Н.П. О векторном потоке сквозь сферу// Геоинформатика. 1998. № 4. С. 21-23.
8. GRACE Gravity Model. <http://www.csr.utexas.edu/grace/gravity/>
9. Груздов В.В., Колковский Ю.В., Криштопов А.В., Куцря А.И. Новые технологии дистанционного зондирования Земли из космоса. Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2018. - 482с. ISBN 978-5-94836-502-2.
10. https://studbooks.net/2361592/tehnika/nepodvizhnye_sputniki_retranslyator.
11. Булатова Н.П. О перспективных направлениях развития современных наук о Земле/ Перспективные направления развития современной науки. Евразийское Научное Объединение. 2017. Т. 2., № 3 (25). С. 183-185.