

ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ

От редакции. В период с 24 по 27 мая в г. Перми кафедрой маркшейдерского дела, геодезии и геоинформационных систем ПГТУ (Национального Исследовательского Университета) при участии Союза маркшейдеров России и Управления по надзору в горной, металлургической и нефтегазодобывающей промышленности Федеральной службы России по экологическому, технологическому и ядерному надзору была проведена 4-я традиционная научно-техническая конференция маркшейдерских служб горных и нефтегазодобывающих предприятий «Новые технологии в маркшейдерии и недропользовании». Вниманию читателей предлагаются несколько наиболее интересных из представленных на ней работ.

Обращаем также Ваше внимание на то, что поскольку рассматриваемая Вдовиным В.С. тематика не только актуальна и полезна с точки зрения маркшейдерского обеспечения деятельности горных и нефтегазодобывающих предприятий, но достаточно обширна, редакция сочла необходимым опубликовать данную статью тремя частями с выпуском указанных в ней Приложений до конца 2010 года в №№ 4-6.

В.С.Вдовин

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОЦЕНТРИЧЕСКИХ И ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ КООРДИНАТ И СЕТЕЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ГОРНОЙ И НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛЕЙ РОССИИ

Часть 1

Введение

Во всём мире, и особенно в развитых странах, геодезия находится на пике кардинальных преобразований, которые в скором будущем повлияют на многие технологические процессы. Геодезия становится глобальной по пространственному охвату, автоматизированной по уровню используемых компьютерных технологий, мониторинговой по темпу обновления геодезических данных, гуманитарной по уровню доступности геодезических данных обычному человеку.

В маркшейдерии современная геодезия уже сейчас позволяет надёжно, быстро и точно осуществлять геометризацию недр, непрерывно отслеживать опасные природные и техногенные процессы на разрабатываемых участках недр, создавать и накапливать в специализированных ГИС огромные объёмы геопространственных данных о недрах для их дальнейшего эффективного использования в АСУ предприятий. Сама статья появилась как результат выступлений автора в течение нескольких последних лет на различных конференциях, учебных сборах и других мероприятиях, проводимых в рамках деятельности Союза маркшейдеров России.

Одной из основ геодезии являются земные системы координат и опорные сети, которые достаточно условно можно разделить на геоцентрические и геодезические. В статье сделана попытка обосновать и рассмотреть актуальные вопросы использования земных систем координат и сетей на предприятиях горной и нефтегазовой отраслей России, что оказалось невозможным без анализа наиболее острых проблем их современного развития в мире и в нашей стране, прежде всего, в части их глобализации, автоматизации и приобретения свойств мониторинговых интеллектуальных систем.

Проведённый анализ показал, что, несмотря на имеющиеся в России публикации по тематике земных систем координат и сетей, включая учебники и монографии известных учёных из ряда крупнейших ВУЗов страны, публикацию с системным описанием состояния и перспектив развития земных систем координат и опорных сетей в мире и в России, особенно в их взаимосвязи, найти сложно.

Приоритет в статье отдан более детальному рассмотрению геоцентрических систем координат, т.к. именно их бурное развитие, особенно за рубежом, в

последние 20 лет связано, в том числе, с таким же бурным развитием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС, GNSS), всё более широко используемых в практической геодезии и маркшейдерии. Также в статье упор сделан на т.н. «геометрическую часть» земных систем координат и сетей. «Гравитационная часть» земных систем координат и сетей рассмотрена только в объёме, необходимом для понимания геометрической части.

Ни у кого не будет вызывать возражений, что в современной практической геодезии и маркшейдерии есть все признаки товародвижения. Поэтому ещё одной особенностью статьи является попытка использовать для описания земных систем координат и сетей методов логистики, предметом которой, как известно, является организация рационального продвижения товаров и услуг от производителей к потребителям, функционирования сферы обращения продукции, товаров и услуг, управления товарными запасами, создания инфраструктуры товародвижения. К использованным в статье методам логистики относятся: структурирование информационных потоков, оценка ресурсов, моделирование и прогноз. Всё это сделано на самом начальном уровне и без оценки затрат.

И без этой статьи специалисты знают о проблемах российской геодезии и об её отставании от современных требований. В статье на это тоже обращено внимание.

90% информации статьи (не считая выводов автора) разработаны на основе открытой информации, выложенной в Интернете в различных источниках, число которых превышает несколько сотен. Как правило, чтобы определить источник информации, достаточно набрать интересующую читателя выдержку из читаемого материала (в т.ч. и этой статьи) в любой поисковой строке Интернета и получить от одной до бесконечного количества ссылок на источники. При этом определить первоисточник в Интернете бывает сложно. Поэтому приводить все эти источники навряд ли целесообразно.

В статье применяется значительное количество специальных терминов и их сокращений (аббревиатур) на русском и английском языках. Некоторые специальные англоязычные термины имеют несколько русскоязычных вариантов, и был выбран один из них, наиболее приближённый к англоязычному тексту. Для

ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ

удобства прочтения и понимания англоязычные специальные термины и их сокращения первый раз даются на русском и английском языках, а затем применяются только их аббревиатуры на английском языке. Указанные аббревиатуры на английском языке удобны ещё и тем, что в Интернете по ним проще выходить на сайты зарубежных электронных источников информации. На наиболее важные Интернет-источники в статье даются их электронные адреса. На английском языке даются также фамилии российских участников международных организаций, включённых в списки этих организаций. В конце статьи будет дан список всех используемых специальных терминов и их сокращений.

В статье приводятся ссылки на приложения, которые будут опубликованы отдельно в электронном варианте по завершении публикации всей статьи. Планируется также публикация статьи со всеми приложениями в Web-варианте, с отсылками от всех используемых ключевых слов к соответствующим Интернет-источникам.

Структура статьи

В табл.1 приводятся основные земные системы координат и опорные сети, используемые в России.

На рис.1 в виде графа показана административная реформа геодезии и картографии в России в 1992-2010 гг. Это сделано для того, чтобы была понятна логика, вследствие которой сегодня российские геодезические системы координат и сети находятся в ведении Росреестра.

Учитывая, что современное развитие геоцентрических систем координат и сетей и связанных с ними геодезических (референцных) систем координат и систем в России и, особенно, за рубежом в значительной степени связано с деятельностью ряда меж-

дународных организаций, в начале статьи кратко освещается их структура и деятельность.

Далее последовательно описываются системы координат и сети:

- мировая система координат WGS-84, международные системы координат RS80, ITRS и сеть ITRF;
- европейские система координат ETRS-89 и сети: EUREF, EPN, ECGN;

- североамериканские системы координат и сети: система США NSRS с сетями FBN, CBN, UDN, CORS и канадская система CSRS с сетями CBN, FDN, PVBMC;

- российские системы координат ПЗ; СК-95; СК-63; местные системы координат субъектов РФ; местные системы координат, устанавливаемые в отношении ограниченных территорий, с геодезическими сетями КГС, ГГС, ОМС; а также маркшейдерские опорные сети (МОС) и сети базовых станций ГНСС.

Затем даются оценки, предложения и прогнозы по использованию земных систем координат и сетей на предприятиях горной и нефтегазовой отраслей России.

Порядок рассмотрения систем координат и сетей (от международных и зарубежных к российским) выбран таким потому, что, во-первых, русскоязычных публикаций о международных и зарубежных системах координат и сетях, и особенно о логистике их развития, значительно меньше, чем о российских, а, во-вторых, более высокий и глобальный уровень развития первых позволяет более критично рассмотреть и оценить российские земные системы координат и сети.

По тексту и в конце статьи даются оценки и выводы по рассмотренным материалам. Естественно, что оценки и выводы не всегда точны, могут не совпадать с мнением других специалистов, и любая позитивная критика будет только полезна.

Таблица 1

Основные земные системы координат и сети, используемые в России

Система	Государственная геодезическая система координат 1995 года	Местные системы координат, устанавливаемые в отношении ограниченных территорий	Система координат 1963 года	Местные системы координат субъектов РФ	Государственная геоцентрическая система координат «Параметры Земли»	Мировая геодезическая система координат		Международная земная система отсчёта	
Сокр. наименование	СК-95	-	СК-63	-	ПЗ	WGS-84		ITRS	
Опорные сети	Государственная геодезическая сеть	Государственная геодезическая сеть	Государственная геодезическая сеть	Опорные межевые сети	Космическая геодезическая сеть	-	Сеть базовых станций Навгеоком ¹	Сеть станций ITRF	Сеть станций ГС РАН
В чьей зоне ответственности	Росреестр	Росреестр	Росреестр	Росреестр	Минобороны России	Минтранс России	Компания Навгеоком	РАН, Ростехрегулирование	Геофизическая служба РАН
Сфера использования	Осуществление геодезических и картографических работ	Проведение геодезических и топографических работ при инженерных изысканиях, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений, межевании земель, ведении кадастров и осуществлении иных специальных работ	СК-63 отменена постановлением ЦК КПСС и СМ СССР от 25.03.87 г. №373-85	Землеустройство, кадастр недвижимости	Геодезическое обеспечение орбитальных полетов и решение навигационных задач	Гражданские авиация, морской и речной флоты	Частный бизнес	Научные исследования	Научные исследования

¹ Сеть базовых станций компании Навгеоком выбрана автором как наиболее крупная опорная сеть, принадлежащая частной компании. В России есть и другие опорные сети, принадлежащие региональным властям и частным компаниям.

ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ

Таблица 1 отображает сложившуюся в России ситуацию, заключающуюся в том, что:

- в сфере геодезии и картографии нормативными актами разрешено использовать государственную геодезическую систему координат СК-95 (заменившую СК-42) и государственную геодезическую сеть (ГГС);

- для проведения геодезических и топографических работ при инженерных изысканиях, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений, межевании земель, ведении кадастров и осуществлении иных специальных работ предусмотрено использование местных систем координат (МСК), устанавливаемых в отношении ограниченных территорий, не превышающих территорию субъекта Российской Федерации. Земной опорой этих МСК также являются пункты ГГС;

- в сфере землеустройства и кадастра недвижимости нормативно предусмотрено использование МСК субъектов Российской Федерации и опорных межевых сетей (ОМС);

- система координат СК-63 нормативно запре-

щена к использованию, хотя до сих пор используется;

- государственная геоцентрическая система координат Параметры Земли (ПЗ) с космической геодезической сетью (КГС), а также международные земные системы координат с их опорными сетями нормативно не разрешены к использованию в сфере геодезии и картографии, но разрешено их использование в других областях экономики и в научных целях.

Что касается создания и использования маркшейдерских опорных сетей - МОС, называемых также маркшейдерскими опорными геодезическими сетями (МОГС), то действующая нормативная база в сфере недропользования не накладывает каких-либо условий на то, в каких системах координат должны создаваться МОС. Однако нормативно определено, что создаваемая на основе МОС горно-графическая документация должна вестись в государственной системе координат с учетом принятых картографических проекций. Для ведения горно-графической документации разрешается также использование МСК.

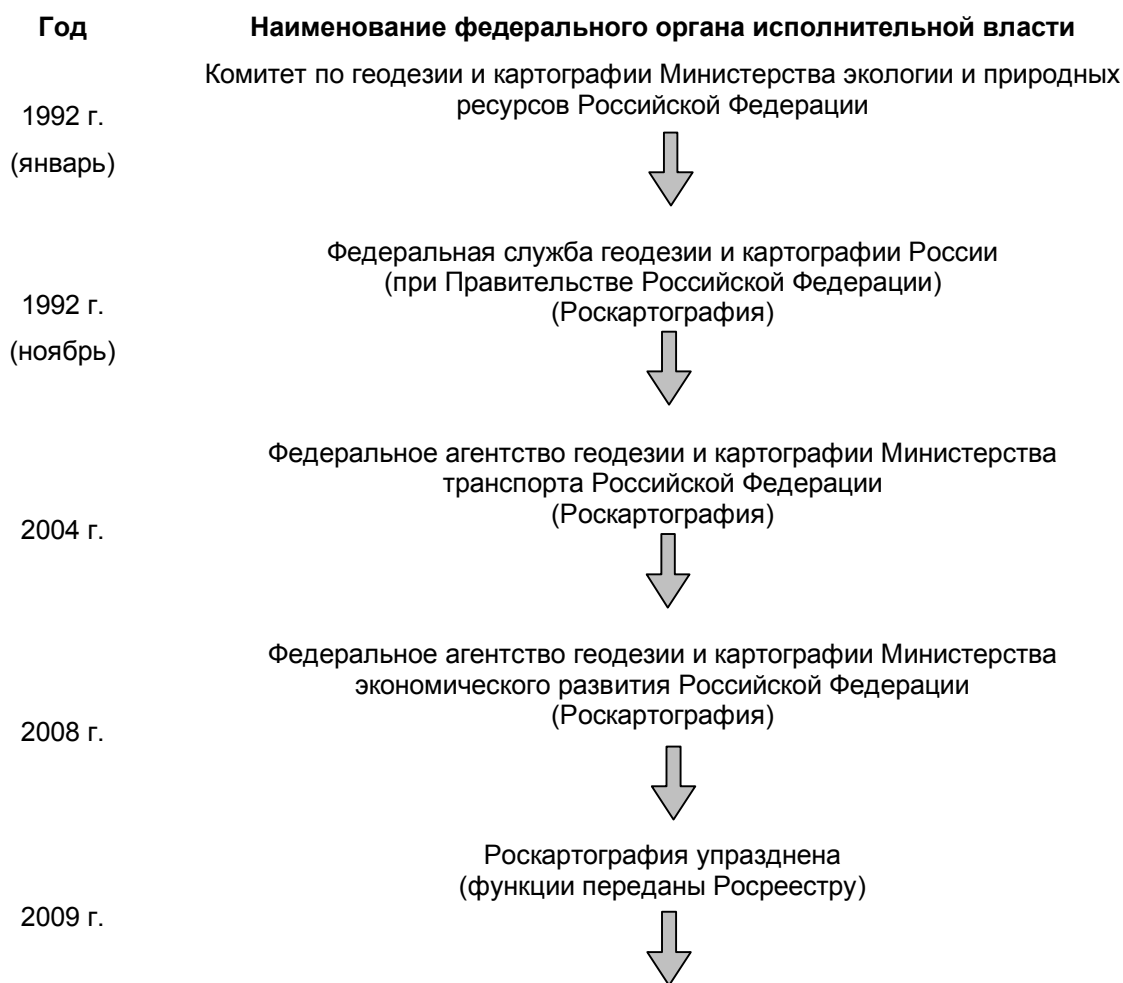


Рис.1. Административная реформа геодезии и картографии в России (1992-2010 гг.) (начало)

ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ

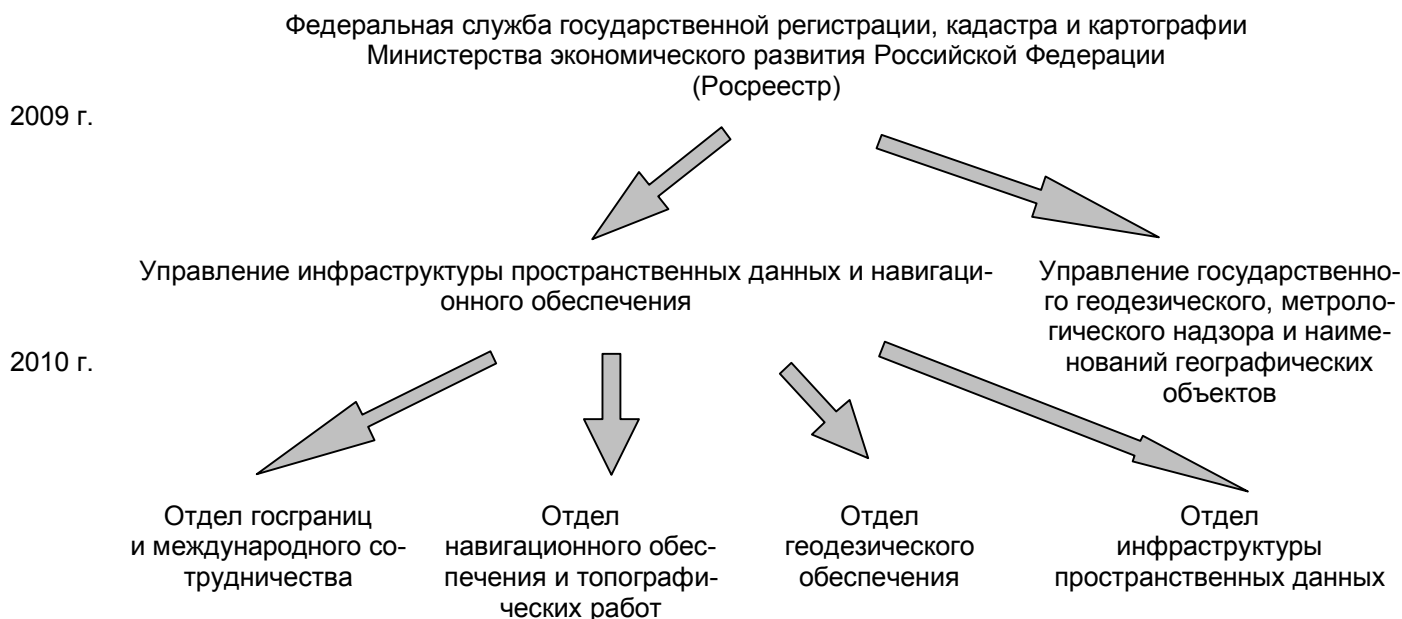


Рис.1. Административная реформа геодезии и картографии в России (1991-2010 гг.) (продолжение)

Основные понятия о геоцентрических системах координат

Сразу необходимо оговориться, что рассматриваемые далее геоцентрические системы координат относятся к системам координат на Земле, изучением которых занимаются такие фундаментальные науки как теоретическая астрономия, общая теория относительности, высшая (в том числе космическая) геодезия и некоторые другие. Теория и являющаяся элементом теории классификация систем координат на Земле сложны и связаны с большим объёмом многообразных знаний о Земле и Вселенной. Для того, чтобы изначально не вдаваться в сложные, но хорошо известные теоретические положения по системам координат на Земле, нам необходимо ограничить дальнейшие выкладки рядом следующих условий.

Далее по умолчанию будем считать, что рассматриваемые геоцентрические системы координат являются:

- прямоугольными (по форме);
- экваториальными (по выбору основной (фундаментальной) координатной плоскости XOY);
- гринвичскими (по ориентированию плоскости XOZ);
- средними, принятыми на определенную эпоху (в зависимости от времени, к которому относится положение точки весеннего равноденствия γ и направление оси Z).

При этом переход рассматриваемого вида систем координат в другие виды или связь с другими видами далее будет всегда оговариваться.

При названных условиях описание любой геоцентрической системы координат как минимум включает в себя:

- фундаментальные постоянные и параметры фигуры Земли;
- модель и параметры земного эллипсоида;
- каталог координат опорных пунктов;

- модель гравитационного поля Земли;
- параметры связи с другими системами координат. Фундаментальные постоянные и параметры фигуры Земли являются общими для всех геоцентрических систем координат. Эти параметры, а также ряд других данных о геоцентрических системах координат официально устанавливаются и публикуются следующими международными организациями:

- Международный астрономический союз (International Astronomical Union) – МАС (IAU), <http://www.iau.org/>, публикует Список фундаментальных астрономических постоянных (Numerical Standards for Fundamental Astronomy) - NSFA.
- Международная ассоциация геодезии (International Association of Geodesy) – МАГ (IAG), <http://www.iag-aig.org/>, публикует Список параметров, общих для астрономии, геодезии и геодинамики (Parameters of Common Relevance to Astronomy, Geodesy, and Geodynamics);
- Международная служба вращения Земли и опорных систем (International Earth Rotation and Reference Systems Service) – МСВЗ (IERS), <http://www.iers.org/>, публикует:
 - параметры вращения Земли (Earth Orientation Data) – ПВЗ (EOP);
 - соглашения IERS (IERS Conventions), в которых определена стандартная опорная система, используемая IERS; определены установленные Соглашением модели, константы и стандарты;
 - описание Международных земной опорной системы и сети (International Terrestrial Reference Systems/Frames) - ITRS/ITRF;
 - описание Международных небесной опорной системы и сети (International Celestial Reference Systems/Frames) - ICRS/ICRF;
 - описание Глобальных геофизических изменяющихся данных (Global Geophysical Fluids Data).

ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ

Учитывая, что рассматриваемые далее вопросы, касающиеся геоцентрических систем координат, во многом связаны с деятельностью указанных выше международных организаций, далее в статье кратко освещены их структура и те направления их деятельности, которые напрямую связаны с геоцентрическими системами координат.

Международный астрономический союз – МАС (International Astronomical Union - IAU)

IAU – это организация, объединяющая астрономические сообщества всего мира. IAU основан в июле 1919 года в Брюсселе (Бельгия).

IAU состоит из государств-членов (представленных национальными академиями или другими неправительственными учреждениями) и более 10000 индивидуальных членов. IAU включает 64 государства. СССР вошёл в IAU в 1935 г. В настоящее время Российскую Федерацию в IAU представляет Российская академия наук (РАН), а функции национального комитета в IAU возложены на Институт астрономии РАН (ИНАСАН).

IAU входит (вместе с подобными организациями в других отраслях науки) в Международный совет научных союзов (International Council of Scientific Unions – ICSU), штаб которого размещается в Париже.

Научная работа IAU осуществляется Научными организациями (Scientific Bodies), включающими Отделы (Divisions), Комиссии (Commissions), Рабочие группы (Working Groups), Программные группы (Program Groups) и Центры (Centres); а также Национальными членами IAU и их комитетами.

По теме статьи представляют интерес Отдел 1 Фундаментальной астрономии (Division I Fundamental Astronomy), а также национальный комитет от России – ИНАСАН.

Отдел 1 Фундаментальной астрономии (Division I Fundamental Astronomy)

Отдел несет ответственность за мониторинг научного и международного развития фундаментальной астрономии и за то, что IAU будут рассмотрены наиболее важные вопросы в этой области с предвидением, предприимчивым духом и с научным подходом. Отдел стимулирует новые инициативы и международное сотрудничество в области фундаментальной астрономии, стандартизации научных результатов и поддерживает исследования и дискуссии, касающиеся актуальных тем и проектов.

В Отдел 1 входит 777 членов от различных государств, в том числе от России – 39 членов. Интересно отметить, что Президентом Отдела 1 является Dennis D. McCarthy, сотрудник Военно-морской обсерватории США (United States Naval Observatory – USNO).

Вопросы, связанные с системами координат, относятся к компетенции следующих подразделений Отдела 1:

- Комиссия 19: Вращение Земли (Commission 19: Rotation of the Earth);
- Комиссия 31: Время (Commission 31: Time);
- Рабочая группа: Вторая реализация Международной небесной опорной сети (Working Group: Second Realization of International Celestial Reference Frame) – ICRF2;

– Рабочая группа: Числовые стандарты в фундаментальной астрономии (Working Group: Numerical Standards in Fundamental Astronomy) – NSFA.

Кратко рассмотрим эти подразделения.

Комиссия 19 поддерживает и координирует научные исследования по вращению Земли и связанным с ним опорным системам.

Включает оргкомитет из 8 членов, в который от России входит Zinovy M. Malkin, и 165 членов, в том числе 6 представителей России: Iskander S. Gayazov, Sergei D. Petrov, Lidiya V. Rykhlova, Nadia Shuygina, Nikolaj S. Sidorenkov, Vladimir E. Zharov.

Основные цели Комиссии 19:

- поощрять и развивать сотрудничество в области наблюдений и теоретических исследований ориентации Земли (движение полюса в земной и небесной системах отсчёта и вращение вокруг полюса);

- обслуживать астрономическое сообщество в части обеспечения его контактов с официальными организациями, поддерживающими ITRS/ITRF, ICRS/ICRF и EOP: IAG, IERS, Международной РСДБ службой для геодезии и астрометрии (International VLBI Service for Geodesy and Astrometry) – IVS, Международной службой ГНСС (International GNSS Service) – IGS, Международной службой лазерной локации (International Laser Ranging Service) – ILRS, Международной службой DORIS (International DORIS Service) – IDS;

- разрабатывать методы для улучшения точности и понимания ориентации Земли и связанных с ней опорных систем и сетей;

- обеспечивать согласование и преемственность опорных сетей, используемых для ориентации Земли, с другими астрономическими опорными сетями и их сгущениями;

- обеспечивать средствами для сравнения наблюдений и анализа методов и результатов для обеспечения точности данных и моделей.

Комиссия 31 поддерживает и координирует работы и исследования, связанные со временем.

Включает оргкомитет из 4 членов, в который от России входит Vladimir E. Zharov, и 107 членов, в том числе 2-х представителей России: Sergej B. Pushkin, Alexander E. Rodin.

Комиссия 31 имеет следующий круг полномочий:

- поддержание сотрудничества с национальными и международными учреждениями, предоставляющими информацию об атомном времени;

- налаживание сотрудничества между обсерваториями и другими учреждениями, обеспечивающими получение и архивацию астрономических данных, имеющих отношение к атомному времени, таких как данные пульсаров;

- разработка методов анализа и оценки астрономических данных, относящихся к фундаментальным концепциям времени;

- разработка методов пропаганды астрономических данных и результатов, имеющих отношение к времени.

Рабочая группа ICRF2 координирует проект с одноименным названием, который выполняют IAU, IERS и IVS.

От IAU весь состав рабочей группы представлен

ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ

одним членом, а именно, Чоро Ма из Годдардовского центра космических полётов НАСА (Goddard Space Flight Center NASA - GSFC), что характеризует на первый взгляд неочевидное наличие в IAU рационального подхода к формированию своих структур. Однако у партнёров IAU по ICRF2 - IERS и IVS функционирует собственная рабочая группа в составе 25 членов, в которую от Российской Федерации входят 5 человек: S.Kurdubov, Z.Malkin, E.Skurikhina, J.Sokolova, V.Zharov. Цель рабочей группы IERS/IVS – обеспечение ICRF данными VLBI, согласованными с текущей реализацией ITRF и данными EOP.

ICRF в настоящее время определена координатами 212 внегалактических объектов, полученных с помощью VLBI-наблюдений. 13 августа 2009 года XXVII Генеральная Ассамблея IAU резолюцией В3 приняла ICRF2 в качестве фундаментальной небесной опорной сети, начиная с 1 января 2010 года.

В Рабочую группу NSFA входят 12 членов. От Российской Федерации в состав Рабочей группы входит E.V.Pitjeva.

Рабочая группа NSFA отвечает за публикацию на своей web-странице <http://maia.usno.navy.mil/NSFA.html> в режиме обновления (update) наилучших текущих оценок числовых стандартов (Current Best Estimates) - CBEs, а также за их согласование с Соглашениями IERS и Международной системой единиц измерения СИ (SI). Интересно отметить, что указанная web-

страница является одновременно одной из страниц официального сайта USNO.

Актуальную версию CBEs (последнее обновление 10 августа 2009 г.) можно найти в Интернете, и она также будет приведена в Приложении 1. Учитывая, что в CBEs использованы различные шкалы времени, их краткое описание будет дано в Приложении 2.

В таблицах 2 и 3 приведены в системе единиц СИ те величины из CBEs, которые входят в состав параметров геоцентрических систем координат.

Как было отмечено выше, национальным комитетом IAU от России является ИНАСАН. Кратко остановимся на его роли в развитии международных земных систем координат.

ИНАСАН (до 1990 года - Астрономический совет Академии наук СССР) – ведущее учреждение РАН в области астрономии и космической геодезии.

В состав ИНАСАН в т.ч. входят:

- отдел космической астрометрии под руководством Рыхловой Л.В. (Lidiya V. Rykhlova), являющейся, как было отмечено выше, членом Комиссии 19 IAU;

- отдел космической геодезии под руководством Татевян С.К. (Tatevyan, Suriya), являющейся членом Комиссии 7 IAU.

В отделе космической астрометрии, в т.ч., изучается динамика вращения Земли.

Таблица 2

Определяемые константы (СИ) (Defining Constants (SI))

Константа	Описание	Размерность	Значение	Кто принял
c	Скорость света	мсек ⁻¹	2.99792458×10 ⁸	IAU, IERS

Таблица 3

Текущие наилучшие оценки (СИ) (Current Best Estimates (SI))

Константа	Описание	Размерность	Значение	Неопределённость	Кто принял
G	Гравитационная постоянная	м ³ кг ⁻¹ сек ⁻²	6.67428×10 ⁻¹¹	6.7×10 ⁻¹⁵	
a _E	Экваториальный радиус Земли	м	6.3781366×10 ⁶	1×10 ⁻¹	IERS
J ₂	Динамический коэффициент сжатия Земли		1.0826359×10 ⁻³	1×10 ⁻¹⁰	IERS
dJ ₂ /dt	Долговременная вариация J ₂	су ⁻¹	-3.001×10 ⁻⁹	6×10 ⁻¹⁰	
GM _E	Геоцентрическая гравитационная постоянная	м ³ сек ⁻²	3.986004418×10 ¹⁴ (совместимое с TCB ^{Прим.1})	8×10 ⁵	IERS
			3.986004415×10 ¹⁴ (совместимое с TT ^{Прим.1})	8×10 ⁵	
			3.986004356×10 ¹⁴ (совместимое с TDB ^{Прим.1})	8×10 ⁵	
W ₀	Потенциал геоида	м ² сек ⁻²	6.26368560×10 ⁷	5×10 ⁻¹	IERS
Ω	Номинальное значение угловой скорости вращения Земли	радсек ⁻¹	7.292115×10 ⁻⁵		IERS

Примечания:

Прим.1. TCB – барицентрическое координатное время, TT – земное время, TDB - барицентрическое динамическое время.

ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ

В отделе космической геодезии ведутся исследования по космической геодинамике (научный анализ данных наблюдений ИСЗ для целей астрономии и геофизики), и в том числе в рамках следующих международных проектов:

- WEGENER (Working Group of European Geoscientists for the Establishment of Networks for Earth-science Research) - Межкомиссионный проект IAG, о котором будет сказано ниже в разделе IAG;
- ASPG (Asian-Pacific Space Geodynamics). Основная задача проекта - исследования геодинамики региона методами космической геодезии с целью изучения механизмов, приводящих к характерным для данного региона катастрофическим природным явлениям;
- DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellites). DORIS - Допплеровская спутниковая система для определения орбит ИСЗ и координат наземных пунктов. ИНАСАН является официальным партнером Национального географического института Франции (Institut Géographique National) и Комитета космических исследований Франции (Centre national d'études spatiales - CNES) по установке и координации наземной аппаратуры системы DORIS на территории России. Решением бюро IERS ИНАСАН определен также одним из международных центров по обработке данных измерений системы DORIS в составе Международной службы DORIS.

По тематике данной статьи интересно также отметить, что в 1961 г. Астросовет совместно с Пулковской обсерваторией (ГАО АН СССР) организовал первый в мире эксперимент по спутниковой геодезии. Кроме того, созданная Астросоветом сеть пунктов послужила основой для реализации первых глобальных геодезических программ «Арктика–Антарктика» и «Большая хорда». Основа этих проектов - синхронные фотографические наблюдения ИСЗ методом космической триангуляции, при котором одна из вершин каждого треугольника совпадает с положением спутника в данный момент времени. Цель этих проектов состояла в измерении направлений и длин хорд, соединяющих станции векторного хода от Арктики до Антарктики с длиной результирующего хода около 12000 км. Использовались синхронные фотографические наблюдения спутника Pageos (США), выведенного на орбиту NASA в июне 1966 года. Pageos представлял собой сферу из тонкой (0,0127 мм) алюминированной полимерной плёнки диаметром 31 м. Масса – 56 кг. Pageos был выведен на полярную орбиту с высоким наклоном (85–86°) высотой около 4000 км. Спутник просуществовал до июля 1975 года. В те же годы (1969–1973) на базе наблюдений спутника Pageos была выполнена совместная программа США и Швейцарии по созданию мировой сети спутниковой триангуляции (Weltnetz der Satellittriangulation, Worldwide Satellite Triangulation Network). Данная сеть состояла из 46 станций (расстояние между станциями 3000–5000 км). Станции располагались на всех континентах. Измерения, проведенные по результатам на-

блюдений спутника, дали точность определения координат на поверхности Земли порядка 3–5 метров.

Международная ассоциация геодезии – МАГ (International Association of Geodesy - IAG)

IAG – международная научно-исследовательская организация в области геодезии. История IAG восходит к 1860 году. IAG способствует научно-техническому сотрудничеству и исследованиям в области геодезии в глобальном масштабе через свои различные исследовательские организации.

IAG входит в Международный союз геодезии и геофизики (The International Union of Geodesy and Geophysics) – МСГГ (IUGG), международную организацию, направленную на развитие, продвижение и обмен знаниями о Земле, околоземного космического пространства и динамических процессах, вызывающих изменения в системе Земля.

От Российской Федерации с 1992 года членство в IUGG, а также в IAG осуществляет Национальный геофизический комитет Российской Федерации (НГК РФ), в состав которого входит Секция геодезии.

Структура IAG, как и структура IAU, сложная и разветвлённая. По теме данной статьи выделим следующие компоненты IAG: Геодезические справочники, Комиссии, Службы, Глобальную геодезическую систему наблюдений, а также НГК РФ с Секцией геодезии.

Геодезические справочники IAG (Geodesists Handbooks) входят в состав многочисленных веб-публикаций IAG и выпускаются отдельными изданиями один раз в четыре года. Геодезические справочники представляют для данной статьи первоочередной интерес потому, что них регулярно публикуются обновлённые версии «Списка параметров, общих для астрономии, геодезии и геодинамики». В частности, в 2004 году в составе Геодезического справочника Geodesist's Handbook – 2004, вошедшего в Journal of Geodesy - Vol 78/9-12, был опубликован «Список параметров, общих для астрономии, геодезии и геодинамики» под названием «Fundamental Parameters and Current (2004) Best Estimates of the Parameters of Common Relevance to Astronomy, Geodesy, and Geodynamics».

Ниже в таблице 4 приведены входящие в состав параметров геоцентрических систем координат постоянные из «Fundamental Parameters and Current (2004) Best Estimates of the Parameters of Common Relevance to Astronomy, Geodesy, and Geodynamics» в сравнении с теми же постоянными из актуальной версии CBEs.

Краткая история определения фундаментальных постоянных, в том числе публикаций NSFA в виде CBEs, и «Списка параметров, общих для астрономии, геодезии и геодинамики», будет приведена в Приложении 3.

Комиссии IAG

Комиссия 1. Опорные сети (Reference Frames) идентична Подкомиссии B2 Научной комиссии В Комитета космических исследований КОСПАР (Committee on Space Research - COSPAR) при Меж-

ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ

дународном совете научных союзов ICSU.

Комиссия 1 включает 10 подкомиссий (Sub-Commissions), 2 Межкомиссионных проекта (Inter-Commission Project), 3 Межкомиссионные Исследова-

тельские группы (Inter-Commission Study Groups), 4 Межкомиссионные рабочие группы (Inter-Commission Working Groups) и Управляющий комитет (Steering Committee) из 11 членов (без российских участников).

Таблица 4

Постоянные из «Fundamental Parameters and Current (2004) Best Estimates of the Parameters of Common Relevance to Astronomy, Geodesy, and Geodynamics» в сравнении с теми же постоянными из актуальной версии CBEs

Наименование ^{Прим.1}	Обозначение	Размерность	Постоянные из CBEs (2009)		Постоянные из «Fundamental Parameters and Current (2004) Best Estimates of the Parameters of Common Relevance to Astronomy, Geodesy, and Geodynamics»	
			Значение	Неопределённость	Значение	Погрешность
Скорость света в вакууме	c	мсек^{-1}	299792458	-	299792458	-
Ньютоновская гравитационная постоянная	G	$\text{м}^3\text{кг}^{-1}\text{сек}^{-2}$	6.67428×10^{-11}	6.7×10^{-15}	6672.59×10^{-14}	$\pm 0.30 \times 10^{-14}$
Геоцентрическая гравитационная постоянная	GM	$\text{м}^3\text{сек}^{-2}$	-	-	398600441.8×10^6 (с учётом массы атмосферы Земли)	$\pm 0.8 \times 10^6$
			-	-	398600441.5×10^6 (для модели ГПЗ EGM 96)	-
			$3.986004418 \times 10^{14}$ (совместимое с TCB)	8×10^5	-	-
			$3.986004415 \times 10^{14}$ (совместимое с TT)	8×10^5	398600441.5×10^6 (совместимое с TT)	0.8×10^6
			$3.986004356 \times 10^{14}$ (совместимое с TDB)	8×10^5	398600435.6×10^6 (совместимое с TDB)	-
Средняя угловая скорость вращения Земли	ω	Радсек^{-1}	7.292115×10^{-5}	-	7292115×10^{-11}	Прим.2
Динамический коэффициент сжатия Земли	J_2	б/р	1.0826359×10^{-3}	1×10^{-10}	1082635.9×10^{-9}	$\pm 0.1 \times 10^{-9}$
Сжатие Земли	f	б/р	$1/298,257 = 0,00335281$	$0,00335279$ $0,00335283$	$1/298,25642$	$\pm 1 \times 10^{-5}$
Экваториальный радиус Земли	aE	м	6.3781366×10^6	1×10^{-1}	$6378136,6$	$0,10$
Среднее значение ускорения силы тяжести на экваторе	g_c	мс^{-2}			$9,7803278$	$\pm 1 \times 10^{-5}$
Потенциал геоида	W_0	$\text{м}^2\text{с}^{-2}$	6.26368560×10^7	5×10^{-1}	$62636856,0$	$\pm 0,5$

Примечания:

Прим. 1. Наименования, обозначения и порядок следования постоянных даны по «Fundamental Parameters...».

Прим. 2. ω меняет своё значение с течением времени. В «Fundamental Parameters...» даются сведения по изменчивости ω .

ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ

Только в два структурных элемента Комиссии 1 входят по одному российскому участнику: Gleb Demianov - Межкомиссионный проект IC-P1.2 «Вертикальные опорные сети» (Vertical Reference Frames); Sergei Klioner - Межкомиссионная рабочая группа IC-WG1.3 «Понятия и терминология, связанные с геодезическими опорными системами» (Concepts and terminology related to Geodetic Reference Systems).

Круг полномочий Комиссии 1

Опорные системы и сети имеют первостепенное значение для многих научных исследований и приложений о Земле, спутниковой навигации, а также для практических приложений геоинформатики. Точно определённые опорные сети необходимы для количественной оценки, например, вращения Земли и ее гравитационного поля, изменения уровня моря, тектонических движений и деформаций, послеледникового движения, движения центра масс Земли, больших деформаций большого масштаба из-за землетрясений, локальных оседаний и других разрывов земной коры. Деятельности и задачи Комиссии 1 связаны с решением теоретических аспектов опорных систем и практическим применением их реализации, а также прикладными исследованиями.

Комиссия 1 тесно взаимодействует с тремя другими комиссиями IAG, ICCT, Службами IAG и компонентами GGOS, которые связаны с опорными системами. Осуществляется тесное форсированное сотрудничество с международными организациями, которые развивают и финансируют обсерватории космической геодезии, с тем, чтобы принять все возможные меры, которые позволяют повысить качество и распределение точек коллокации, которые составляют основной фонд ITRF.

Цели Комиссии 1

- установление, поддержание, улучшение геодезических опорных сетей;
- развитие передовых технологий наземных и космических наблюдений для вышеуказанных целей;
- международное сотрудничество для определения и развертывания сетей, базирующихся на наземных наблюдениях космической геодезии;
- развитие теории и координация астрометрических наблюдений в интересах опорных сетей;
- сотрудничество в области космической геодезии и опорных сетей, связывающее международные службы, агентства и организации.

Более детальная информация о Комиссии 1 будет дана в Приложении 4.

Комиссия 2. Гравитационное поле (Gravity Field)

Комиссия 2 включает 5 подкомиссий, 6 собственных проектов (Commission Projects), 2 собственные Исследовательские группы (Study Groups), 2 Межкомиссионных проекта, 4 Межкомиссионные исследовательские группы, 4 Межкомиссионные рабочие группы и Управляющий комитет из 10 членов.

Только в один структурный элемент Комиссии 2 - Исследовательская группа SG 2.1 Сравнения абсолютных гравиметров (Comparisons of Absolute

Gravimeters)) - входят 3 российских участника: руководитель группы, одновременно представляющий BIPM, Leonid F. Vitushkin, а также Gleb Demianov и Alexandr Kopaev.

Круг полномочий Комиссии 2

Точное определение гравитационного поля и его временных вариаций является одной из главных целей современной геодезии. Это тесно связано с геофизикой, геодинамикой, навигацией, метрологией и другими смежными дисциплинами, включая экологические проблемы Земли. Именно с этой целью решением IUGG в Саппоро летом 2003 года и была создана Комиссия 2 для поощрения, поддержки и стимулирования развития знаний, технологий и международного сотрудничества в области геодезии, связанной с гравитационным полем Земли. В последний период 2003-2007 годов Комиссия 2 достигла своей главной цели и начала решать задачи на следующий четырехлетний период.

Комиссия 2 в течение следующих четырех лет (2008-2011 гг.) нацелена на решение ряда важных проблем, таких как: анализ новых типов данных гравитационного спутника GOCE; более точное моделирование временных изменений гравитационного поля, чтобы лучше понять массообмен; новые технологии наблюдений. Новая исследовательская группа (SG2.2) была учреждена, чтобы разобраться, прежде всего, в технологиях моделирования силы тяжести высокоточного разрешения для оказания помощи в обработке данных от существующих и будущих гравитационных спутников. Другие исследовательские группы и рабочие группы будут создаваться по мере необходимости при появлении четко определенных предметов исследований.

Цели Комиссии 2

- наземная, морская, воздушная и спутниковая гравиметрия;
- моделирование гравитационного поля, включая изменяющееся во времени гравитационное поле в региональных и глобальном масштабах;
- спутниковые наблюдения гравитационного поля;
- определение гравитационного поля по спутниковой альтиметрии;
- определение геоида;
- моделирование и определение спутниковых орбит.

Подкомиссии охватывают следующие научные темы: наземная, воздушная и судовая гравиметрия; гравиметрические сети с измерениями относительной и абсолютной силы тяжести; моделирование пространственных и временных вариаций гравитационного поля и геоида; спутниковые гравитационные проекты и определения региональных геоидов. Проекты создаются для организации работы в уникальных и редких областях, представляющих интерес, или частных проблем, требующих специального международного сотрудничества.

Комиссия 2 имеет тесные связи с родственными комиссиями, ICCT, IGFS и другими структурами IAG. Соглашениями этих структур создаются межкомисси-

онные проекты, рабочие группы, исследовательские группы, которые создают междисциплинарный стимул для работы в ряде вопросов, представляющих интерес для Комиссии.

Более детальная информация о Комиссии 2 будет дана в Приложении 5.

Комиссия 3. Вращение Земли и геодинамика (Earth Rotation and Geodynamics)

Комиссия 3 включает 4 подкомиссии, 2 Межкомиссионных проекта, 2 Межкомиссионные исследовательские группы и Управляющий комитет из 9 членов.

Только в один структурный элемент Комиссии 3 (Межкомиссионный проект IC-P 3.2 Рабочая группа европейских геологов по созданию сетей для научных исследований Земли (Working Group of European Geoscientists for the Establishment of Networks for Earth Science Research - WEGENER)) входит 1 российский участник - Suriya Tatevian.

Круг полномочий Комиссии 3

Геодинамика в более широком и наиболее традиционном смысле изучает силы, которые действуют на Земле как извне, так и изнутри нашей планеты, и то, каким образом Земля движется и деформируется в соответствии с этими силами. Это включает в себя весь комплекс явлений, связанных с вращением и ориентацией Земли, таких как движение полюсов, изменение продолжительности дня, прецессии и нутации, наблюдения и понимание которых являются критическими для преобразований между земной и небесной системами отсчета. Это также включает в себя приливно-отливные процессы, такие как приливы и отливы для твердой Земли и приливы и отливы с учётом океанской нагрузки.

За последние несколько десятилетий многие геофизики пришли к пониманию геодинамики в более узком смысле, направленной на исследование таких процессов, как тектоника плит и послеледниковое восстановление, которые являются преимущественно эндогенными процессами. Так как Земля как механическая система реагирует и на эндогенные, и на экзогенные силы, а иногда на их сочетания, Комиссия 3 исследует весь комплекс физических процессов, связанных с движением и деформацией твёрдой Земли. Цель комиссии 3 заключается в поощрении, распространении и, в случае необходимости, оказании содействия в координации исследований на этой широкой арене.

У Комиссии 3 также совпадают интересы с другими подразделениями IAG, а также с комиссиями в других ассоциациях, таких как IAU. Последний космический проект GRACE расширил общие интересы Комиссии 3 с Комиссией 2, так как изменения силы тяжести во времени связаны как с деформацией Земли (например, перемещение льда и осадки), так и с реакцией Земли на эти и другие воздействия.

Цели Комиссии 3

- ориентация Земли (вращение Земли, движение полюсов, нутация и прецессия);
- земные приливы и отливы;
- тектоника и деформация земной коры;

- топография поверхности моря и изменения уровня моря;
- динамика Луны и планет;
- воздействия подвижных слоёв Земли (например, послеледниковое восстановление, осадки).

Выше отмечалось об участии российского представителя в проекте Комиссии 3 WEGENER. Основная задача проекта - организация и координация работ по проведению на территории Европы (и прилегающих континентах) измерений методами космической геодезии и анализ данных с целью изучения глобальной и региональной геодинамики. ИНАСАН, как головная организация в системе РАН, ведет работы по развитию на территории России сети постоянно-действующих GPS станций с целью изучения глобальной геодинамики. Для обработки результатов GPS измерений в ИНАСАН используется программа GIPSY-OASIS 2, предоставленная JPL/CALTEX (США) в рамках сотрудничества в области наук о Земле между РАН и NASA (США).

Более детальная информация о Комиссии 3 будет дана в Приложении 6.

Комиссия 4. Позиционирование и приложения (Positioning and Applications)

Комиссия 4 включает 5 подкомиссий, 2 собственные Научные группы, 1 Межкомиссионную рабочую группу, 2 Межкомиссионных научных группы и Управляющий комитет из 9 членов. В Комиссии 4 российских участников нет.

В задачи Комиссии 4 входит поощрение научных исследований в целях разработки ряда геодезических инструментов, имеющих практическое применение в инжиниринге и картографии. Комиссия осуществляет свою деятельность в тесном сотрудничестве со службами и другими структурами IAG, а также с помощью связей с соответствующими структурами в рамках научных и профессиональных родственных организаций.

Признавая центральную роль ГНСС (GNSS) во многих из этих приложений, работа Комиссии сосредоточена на нескольких GPS-технологиях, с учетом расширения ГНСС до ГЛОНАСС, Galileo и BeiDou. Эти технологии включают в себя точное позиционирование, но выходящее за рамки применения опорных сетей и геодинамики и нацеленное на выработку требований к точности и на позиционирование подвижных платформ в режиме реального времени.

Некоторые подкомиссии занимаются технологиями точного кинематического GNSS-позиционирования (отдельно или в комбинации с другими датчиками позиционирования) как самостоятельной проблемой, так и в приложении к областям съёмки и инжиниринга. Проводятся исследования в «некоординатных» областях, имеющих отношение к геодезической инфраструктуре, таких как, например, зондирование атмосферы.

Комиссия также занимается геодезическим дистанционным зондированием с использованием технологий InSAR (будет рассмотрена в Приложении 7) и GNSS в качестве дистанционных датчиков для изуче-

ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ

ния суши, океана и атмосферы.

Цели Комиссии 4

- развитие наземных и спутниковых систем позиционирования, в том числе датчиков и интегрированных систем;
- навигация и управление платформами;
- интерферометрические лазерные и радиолокационные приложения (например, РЛС с синтезированной апертурой);
- применение геодезического позиционирования с использованием трехмерных геодезических сетей (пассивных и активных сетей), в том числе мониторинг деформаций;
- применение геодезии для инжиниринга;
- исследования атмосферы с использованием технологий космической геодезии.

Более детальная информация о Комиссии 4 будет дана в Приложении 8.

Межкомиссионный комитет по теории (Intercommission Committee on Theory - ICCT)

Комитет включает 8 Межкомиссионных научных групп и Управляющий комитет из 7 членов. Только в один структурный элемент Комитета (Межкомиссионная научная группа IC-SG4 Теория инверсии и глобальная оптимизация (Inverse Theory and Global Optimization)) входит один российский участник С. Ху.

Круг полномочий и цели ICCT

В результате реструктуризации IAG и признавая, что геодезические системы наблюдения вышли на такой уровень, что геодезические измерения – в настоящее время имеют беспрецедентно высокую точность и качество, могут легко охватить область

любого размера вплоть до нескольких десятков тысяч километров, состоят из несогласованных типов данных, и могут выполняться постоянно, и следовательно, требуют новых математических моделей с целью получения наилучшей выгоды от такого технического прогресса, ICCT:

1. Настойчиво поощряет расширение границ математических и физических исследований, непосредственно мотивированных геодезическими потребностями, в качестве вклада в науку и инжиниринг в целом и в основы геодезии в частности.

2. Обеспечивает связь между различными подразделениями IAG (комиссиями, службами и проектами) на основе теории и методологии, а также прямое сотрудничество и поддержку этих организаций в тематически ориентированной работе.

3. Помогает IAG в определении математических и физических задач геодезии как предмета науки и привлечения молодых талантов в геодезию. ICCT пытается привлечь и служить «домом» для математически подготовленных геодезистов и для ориентированных на разработку приложений математиков, и

4. Способствует укреплению исследовательских связей и непосредственному вовлечению в соответствующие области науки о Земле, принимая во внимание, что геодезия играет важную роль в понимании физики Земли.

Более детальная информация о ICCT будет дана в Приложении 9.

Конец 1 части. Продолжение в №5(79), сентябрь-октябрь, 2010 г.

Владимир Степанович Вдовин, член Союза маркшейдеров России, ООО «НПАГП «Меридиан+», тел.(495)276-0959